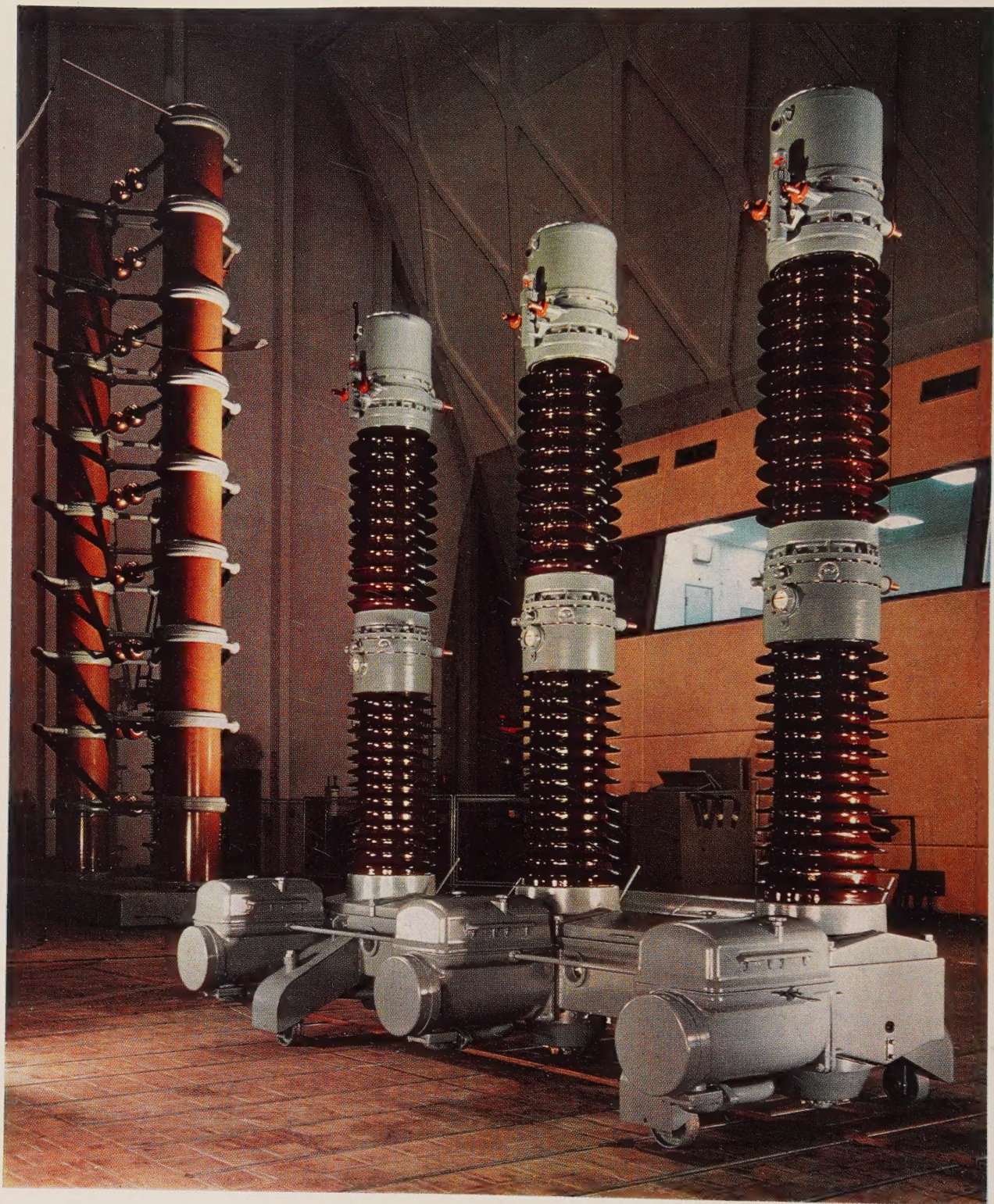


INHALT

EINSELE	Ein neuer Expansionsschalter 110 kV, 4000 MVA Elektrische Eigenschaften	747
MARTEN	Die Weiterentwicklung elektrischer Triebfahrzeuge für Fernbahnen	757
LANG	Arbeitsweise eines neuzeitlichen Ablaufstellwerkes	763
PRITSCHING/WALTER	Neue elektrische Weichensteuerung für Straßenbahnen	770
SÜTHER	Die rundfunktechnischen Einrichtungen des neuen Funkhauses in Beirut	775
ROJEK	Ferngesteuerte Drehstrom-Reihenschlußmotoren für Zuckerrohr-Mühlenantriebe	782
JAUCH/WEGMANN	ESK-Relaismischwähler für Wähl-Vermittlungsanlagen	789
ESCHE/VON HACHT	Induktive Trocknung umhüllter Schweißelektroden	793
 TECHNISCHE BERICHTE		
SCHNARR/THOMAS	Förderanlagen und Fernmeldeeinrichtungen der Universitätsbibliothek Bonn	799
BORN	Spannungs- und Stromrelais in Transistortechnik	801



Expansionsschalter H 800, 110 kV, 4000 MVA

bereitgestellt zur dielektrischen Untersuchung in der Höchstspannungshalle des neuen Hochspannungsversuchsfeldes im Schaltwerk Berlin. Links Stoßspannungserzeuger für 2,4 Mill. Volt

Ein neuer Expansionsschalter 110 kV, 4000 MVA

Elektrische Eigenschaften*

VON ARNOLD EINSELE

In systematischen Untersuchungen und unter Anwendung neu entwickelter Untersuchungsverfahren wurde ein Expansionsschalter 110 kV, 4000 MVA geschaffen (Typenbezeichnung H 800), der gegenüber seinen Vorgängern auf dem Gebiet des Schaltens von Kurzschlußströmen wesentliche, auf dem Gebiet des Schaltens kleiner kapazitiver und induktiver Ströme grundlegende Verbesserungen aufweist.

Die Anforderungen an Hochspannungsschalter sind mit fortschreitender Entwicklung der Netze sehr stark gestiegen, und zwar nicht nur hinsichtlich der Höhe der Ausschaltleistung, sondern auch hinsichtlich der Vielzahl der Schaltaufgaben. Die höchste Kurzschlußleistung in 110-kV-Netzen betrug bis zum Jahre 1943/44 etwa 1500 MVA; Ende 1943 lieferten die Siemens-Schuckertwerke die ersten 110-kV-Schalter für 2500 MVA Ausschaltleistung, und in den folgenden Jahren stieg die Ausschaltleistung auf 3500 und 4000 MVA. Die Ausschaltleistungen werden weiter zunehmen. Ein Schalter für 5000 MVA als Variante des 4000-MVA-Schalters ist in der Entwicklung abgeschlossen.

In der folgenden Aufstellung sind die Schaltanforderungen angegeben, unterteilt nach den Anforderungen beim Ausschalten von Kurzschlußströmen und von kleinen kapazitiven und induktiven Strömen.

Kurzschlußströme

1. Ausschalten
2. Einschalten
3. Kurzunterbrechung

4. Ausschalten bei Phasenopposition
5. Ausschalten bei Doppelerdschluß

Kleine Ströme (10 bis 100 A bis einige Hundert A)

6. Abschalten unbelasteter Freileitungen und Kabel, ferner von Kondensatoren (kapazitive Ströme)
7. Abschalten unbelasteter Transformatoren oder von Drosselpulen (induktive Ströme)

Wesentlich ist, daß die Anforderungen hinsichtlich des Schaltens kleiner kapazitiver und induktiver Ströme gleichwertig zu den Anforderungen beim Schalten von Kurzschlußströmen hinzugetreten sind. Bei letzteren ist die Anzahl der Schaltaufgaben gewachsen. Es wird nicht nur verlangt, daß ein Schalter die seit langem bestehende klassische Forderung des Aus- und Einschaltens von Kurzschlußströmen beherrscht, sondern auch das Ausschalten von Kurzschlußströmen bei Phasenopposition und bei Doppelerdschluß sowie das Ein- und Ausschalten von Kurzschlußströmen im Kurzunterbrechungs-Zyklus sicher bewältigt. Beim Schalten kleiner kapazitiver Ströme, d. h. beim Abschalten unbelasteter Freileitungen und unbelasteter Kabel, war es das Ziel, daß der neue Schalter dies ohne Rück- und Wiederzündungen leistet.

Das Ausschalten von Kurzschlußströmen

Das Ausschalten von Wechselstrom bedeutet nicht, wie das Ausschalten von Gleichstrom, ein Reduzieren des Stromes bis zum Wert Null dadurch, daß in den Stromkreis eine Lichtbogenspannung eingeführt wird, die die Existenzbedingung des Lichtbogens vernichtet. Ausschalten von Wechselstrom bedeutet vielmehr Verhindern des Neuzündens nach einem Stromnulldurch-

* Über den konstruktiven Aufbau des neuen Schalters wird im nächsten Heft der Siemens-Zeitschrift berichtet.

gang. Im Nulldurchgang gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Erscheinungen, die über Neuzünden oder Löschen entscheiden:

1. die thermische Neuzündung,
2. der dielektrische Felddurchschlag.

Diese beiden Erscheinungen stehen in Grenzfällen nicht hart nebeneinander, sondern können ineinander übergehen. Aber für das Verständnis und die Erforschung der Zusammenhänge ist es zweckmäßig, diese beiden scharf zu trennenden und meistens scharf getrennt erscheinenden Vorgänge zu unterscheiden.

Thermische Neuzündung, Nachstromuntersuchungen

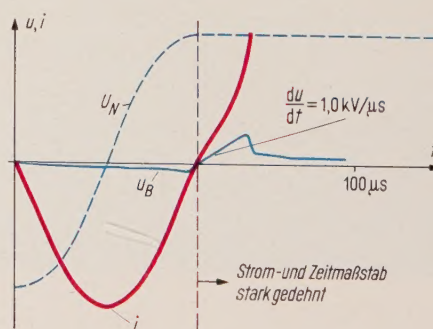
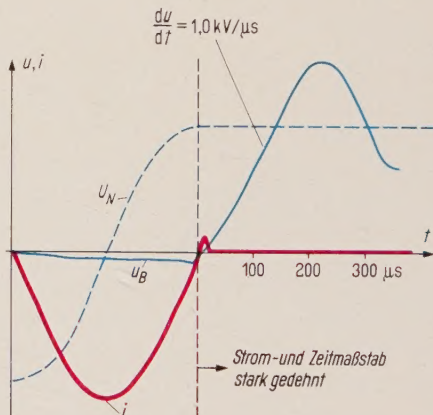
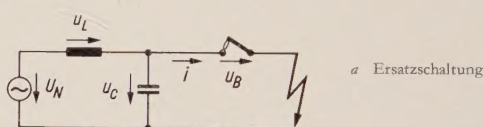
Eine der Haupteigenschaften des Lichtbogens im Hinblick auf das Ausschaltproblem ist die thermische Trägheit seines Plasmas. Bei fallendem Strom z. B. folgt die stationäre Temperatur des Lichtbogens und damit seine stationäre Ionisation nicht unmittelbar den entsprechenden Stromwerten. Vielmehr ist eine gewisse Zeit erforderlich, bis sich die Bogentemperatur und damit die Ionisation auf die neuen Stromwerte einstellt. Für die Löschung entscheidend sind die Vorgänge in den Zeitbereichen von etwa 10 bis 20 μs vor und nach dem Stromnulldurchgang.

Bei 110 kV und 4000 MVA Kurzschlußleistung beträgt die unbeeinflusste Stromsteilheit im Nulldurchgang des Stromes $di/dt_{i \rightarrow 0} \approx 10 \text{ A}/\mu\text{s}$. Für Vorgänge vor dem Nulldurchgang ist also etwa der Bereich der letzten 100 bis 200 A vor dem Nulldurchgang zu untersuchen. Soweit es den gekennzeichneten Zeitbereich nach dem Stromnulldurchgang betrifft, ist die Frage entscheidend wichtig, wieviel Restplasma noch vorhanden, d. h. wie stark die Restionisation ist. Da diese Frage für das Verhalten der Schalter von großer Bedeutung ist, muß man sich quantitative Auskünfte verschaffen.

Die Aufgabe ist grundsätzlich lösbar, da unter dem Einfluß der wiederkehrenden Spannung etwa vorhandene Ladungsträger bewegt werden und als Strom registriert werden können. Die so gemessenen Ströme werden als Nachströme bezeichnet. Wegen der kurzen Zeiten und der kleinen Nachströme ist ihre meßtechnische Erfassung nicht einfach. Die Schwierigkeiten wachsen sehr beträchtlich, wenn man nicht nur an Modellschaltern oder -anordnungen im Laboratorium mißt, sondern Messungen im Hochleistungsversuchsfeld an wirklichen Schaltern bei hohen Spannungen und großen Strömen durchführt. Die hohen Spannungen und großen Ströme koppeln nämlich so starke kapazitive und induktive Störeinflüsse in die Meßanordnung ein, daß das Nutzsignal u. U. weit übertroffen wird. In einer langwierigen Entwicklungsarbeit wurden aber alle Schwierigkeiten überwunden und eine Nachstrom-Meßeinrichtung [1] entwickelt, die im Versuchsfeld im laufenden Betrieb eingesetzt werden kann.

In Bild 1, das schematisiert ist, ist das Grundsätzliche gezeigt. In Bild 1b ist der Fall wiedergegeben, daß im Nulldurchgang Restplasma vorhanden ist, das zu einem Nachstrom führt. Der Nachstrom steigt zunächst unter dem Einfluß der wiederkehrenden Spannung an, geht dann aber auf Null zurück, da die Abkühlungseinflüsse die Tendenzen zum Wiederaufheizen stark überwiegen. Es kommt nicht zur Wiederaufheizung des Restplasmas: Der Schalter löscht.

In Bild 1c ist der andere mögliche Fall veranschaulicht, daß das Restplasma durch die Nachstromleistung wieder aufgeheizt wird. Die Ionisation in der Schaltstrecke nimmt dann so stark zu, d. h., die Schaltstrecke wird so leitfähig, daß der Strom bei kleiner Spannung, der Lichtbogenspannung, getragen werden kann. Die wiederkehrende Spannung bricht daher auf den Wert der Lichtbogenspannung zusammen. Die Wiederaufheizung überwiegt die Abkühlungseinflüsse, d. h. die Löschanstrengungen des Schalters: Es liegt der Fall der Durchzündung des Lichtbogens infolge thermischer Wiederaufheizung vor.



U_N Netzspannung
 U_B Lichtbogenspannung

Bild 1 Ausschaltvorgang – induktiver Stromkreis. Einfluß des Restplasmas (nach Oszillogrammen)

Die Entwicklungsarbeiten haben gezeigt, daß die Ausschalterscheinungen statistischen Charakter haben, so daß nur über eine Vielzahl von Ausschaltversuchen ein zutreffendes Bild gewonnen werden kann. Es wurden daher alle Entwicklungsschritte durch eine Vielzahl von Ausschaltungen kontrolliert und untermauert. Im Laufe der Entwicklung wurden viele hundert Kurzschlußabschaltungen durchgeführt. Bei allen diesen Schaltungen war die Nachstrom-Meßeinrichtung routinemäßig eingesetzt. Die nachfolgenden Oszillogramme zeigen, daß die Nachstrom-Meßeinrichtung weit mehr gibt als nur die Aufzeichnung der Nachströme. Sie vermittelt vielmehr ein umfassendes Bild des Verhaltens des Schalters im Bereich des Stromnulldurchganges, indem sie alle maßgeblichen Strom- und Spannungswerte aufzeichnet. Sehr bemerkenswert und von großer Wichtigkeit ist dabei, daß eine hohe Zeitaufösung erreicht werden konnte.

Die aufgenommenen Oszillogramme lassen sich in drei charakteristische Gruppen einteilen (Bilder 2 bis 4). Die Schaltversuche im Gebiet der Nennauschaltleistung wurden nicht mit dem Nennauschaltstrom von 21 kA, sondern mit 24 kA, d. i. dem 1,15fachen Nennauschaltstrom, durchgeführt; dies bedeutet eine erhebliche Erhöhung der Sicherheit.

Bild 2 zeigt einen Fall des Durchzündens bei noch zu geringer Lichtbogenlänge und demzufolge zu geringer Löschmitteleinwirkung. Die Löschspitze ist infolgedessen auch nur wenig ausgeprägt. Immerhin geht der Strom nicht unbeeinflusst durch Null hindurch. Der Stromanstieg nach dem Nulldurchgang ist deutlich verzögert. 14 μ s nach dem Stromnulldurchgang bricht die wiederkehrende Spannung zusammen. Der Bogen hat neu gezündet. Es liegt der Fall der thermischen Neuzündung infolge nicht ausreichender Entionisierung des Restplasmas vor. Wäre überhaupt keine Beeinflussung vorhanden gewesen, so wäre der Strom mit der unbeeinflussten Steilheit durch Null hindurchgegangen, im vorliegenden Fall also mit etwa 11 A/ μ s.

Bild 3 veranschaulicht eine Löschung. Die Einwirkung des Löschmittels war hier heftig und wirksam. Die Löschspitze ist daher stärker ausgeprägt als in Bild 2. Es wurde kein Nachstrom festgestellt, die Schaltstrecke war also im Augenblick des Nulldurchganges bereits ausreichend entionisiert. Die wiederkehrende Spannung konnte deshalb keinen Nachstrom erzeugen, und die Möglichkeit, die Schaltstrecke thermisch wiederaufzuheizen, war nicht gegeben. Dieses Oszillogramm zeigt ein charakteristisches Nulldurchgang-Verhalten des Schalters.

Bild 4 zeigt eine Löschung mit besonderen Merkmalen. Der Strom erreicht bereits 7 μ s vor dem theoretischen Nulldurchgang, gegeben durch den Nulldurchgang der Spannung, den Wert Null. Das bedeutet keineswegs ein Abreißen des Stromes. Der Strom wird vielmehr in die Nebenkapazität des Netzes abgedrängt; er kippt ab. Der

Wert 7 μ s ist im Sinne der Dynamik von Schalter-Lichtbögen eine sehr lange Zeit. In diesem Fall ist also lange vor dem Nulldurchgang der Spannung bereits keine hinreichende Ionisation mehr vorhanden. Dieses Nulldurchgang-Verhalten mit Abkippen oder Abdrängen des Stromes tritt häufig und immer dann auf, wenn die Lichtbogenlänge groß und demzufolge die Löschmitteleinwirkung sehr heftig ist. Es ist sozusagen der Fall der vollkommenen Löschung.

Dynamische Lichtbogentheorie, Folgerungen

Die dynamische Lichtbogentheorie gibt einen quantitativen Zusammenhang zwischen der Änderung des Bo-

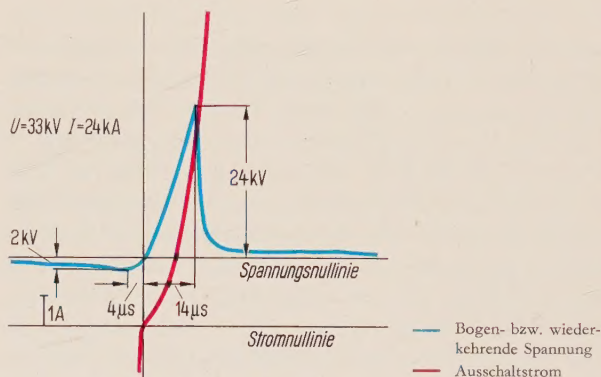


Bild 2 Messung des Nachstromes; Fall einer thermischen Neuzündung

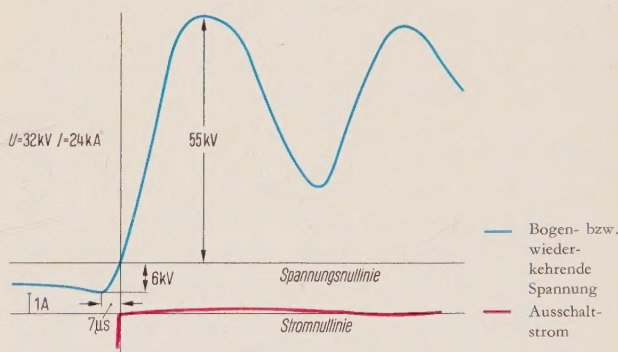


Bild 3 Messung des Nachstromes; kein Nachstrom vorhanden; Löschung

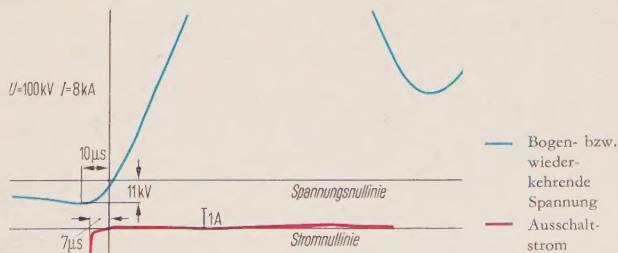


Bild 4 Messung des Nachstromes; Abkippen des Stromes

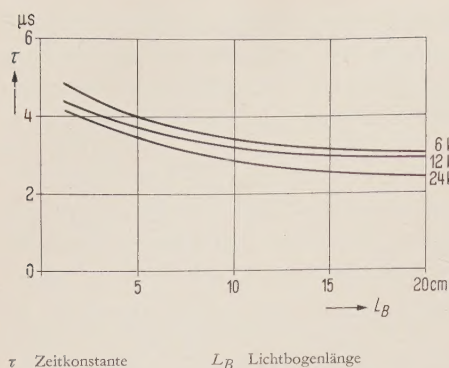


Bild 5 Thermische Zeitkonstante des Restplasmas

genleitwertes, der Wärmeabführung aus dem Bogen und der durch die Zeitkonstante des Bogens gekennzeichneten thermischen Trägheit des Bogens. Dieser Zusammenhang ist in der Mayrschen Lichtbogengleichung [2] ausgedrückt. Aus der Bogengleichung und der Gleichung des Stromkreises lassen sich Strom- und Spannungsverläufe im Gebiet des Stromnulldurchgangs berechnen. Das Gleichungssystem ist nichtlinear, daher wurde die genaue Integration auf einem Analogrechner durchgeführt. Durch Vergleichen der gerechneten und gemessenen Strom- und Spannungsverläufe können die Bestimmungsgrößen des dynamischen Bogens ermittelt werden. Die wesentlichste Größe ist die thermische Zeitkonstante des Bogens (Bild 5). Sie ist bei diesem neuen Schalter äußerst klein, liegt zwischen 3,5 und 2,5 μ s bei Lichtbogenlängen zwischen 10 und 20 cm und ist etwas vom Ausschaltstrom abhängig. Die weiteren Rechnungen ergaben auch Werte für die Wärmeabführungszahl des Lichtbogens im Nulldurchgang, die die außerordentliche Größe von 400 bis 1600 kW bei Bogenlängen zwischen 10 und 20 cm haben. Auch diese Größe ist etwas abhängig vom Ausschaltstrom. Beide Größen lassen die ausgezeichnete Wirksamkeit des Löschsystems und Löschverfahrens erkennen, d. h. die außerordentliche Entionisationsfähigkeit dieses Schalters. Aus den beiden Größen ergibt sich der Wärmeinhalt des verlöschenden Lichtbogens zu etwa 1 bis 4 Ws, wobei der Wärmeinhalt gleich dem Produkt aus der Zeitkonstanten und der Wärmeabführungszahl gesetzt ist. Der geringe Wärmeinhalt macht es verständlich, daß in den extrem kurzen Zeitbereichen von einigen Mikrosekunden eine Entionisierung, d. h. eine steile Reduktion der Bogentemperatur und damit eine Löschung des Lichtbogens möglich ist.

Neuzündung über den Felddurchschlag, synthetische Prüfschaltung

Es wird vorausgesetzt, daß die Schaltstrecke völlig entionisiert, eine thermische Neuzündung also auszuschließen ist; trotzdem kann der Bogen neu gezündet werden, und zwar dadurch, daß die Einschwingspannung die Schaltstrecke rein dielektrisch durchschlägt,

weil diese Schaltstrecke dielektrisch nicht fest genug ist (Bild 6).

Bei gegebener Geometrie der Anordnung wird die dielektrische Festigkeit durch den Abstand der Schaltstücke und die Gasdichte im Entladungskanal bestimmt. Letztere ist, wie bekannt, abhängig von Temperatur und Druck.

Die grundsätzliche Schwierigkeit der beweisenden Prüfung von Schaltern mit großer Leistung besteht darin, daß aus wirtschaftlichen Gründen keine ausreichend große generatorische Kurzschlußleistung bereitgestellt werden kann. In der Vergangenheit wurde daher nach dem vielfach angewandten und anerkannten Verfahren der korrespondierenden Ströme und Spannungen geprüft, d. h. mit einer reduzierten Spannung und dem vollen Ausschaltstrom sowie mit der vollen Spannung und einem reduzierten Ausschaltstrom, wobei in beiden Fällen die maximale Kurzschlußleistung der Prüfanlage in Anspruch genommen wurde. Auf die Prüfung der Schalter für 110 kV, 4000 MVA übertragen, bedeutet dies in der bisherigen Prüfanlage der Siemens-Schuckertwerke eine einpolige Prüfung mit 35 kV und 21 bis 24 kA sowie 95 kV und etwa 8 bis 9 kA.

Ergänzend zu diesen Prüfungen wurden die Strom- und Spannungs-kennlinien des Schalters ermittelt. Die Stromkennlinie zeigt die Abhängigkeit der Lichtbogenlänge von dem Ausschaltstrom bei konstanter Spannung, die Spannungs-kennlinie die Abhängigkeit der Lichtbogenlänge von der Spannung bei konstant gehaltenem Ausschaltstrom. Wenn die Stromkennlinie mit zunehmendem Ausschaltstrom fällt und die Spannungs-kennlinie mit zunehmender Spannung nur schwach steigt, wenn außerdem weitere Nebenbedingungen erfüllt sind, wurde der einleuchtende Schluß gezogen, daß der Schalter auch den vollen Strom bei voller Spannung ausschalten kann. Dieser Schluß ist jedoch nicht unter allen Umständen und für jede Schalterform und jedes Löschverfahren voll

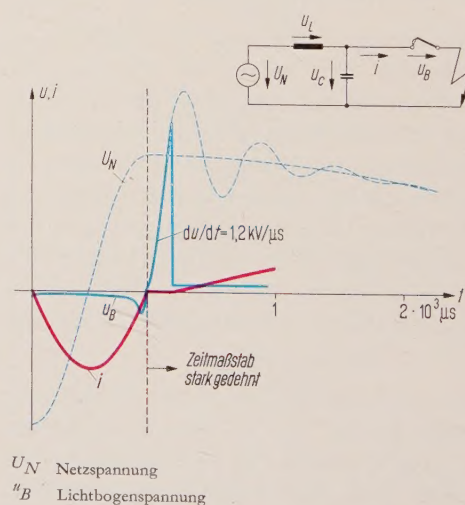


Bild 6 Ausschaltvorgang – induktiver Stromkreis. Wiederzünden über Felddurchschlag (nach Oszillogramm)

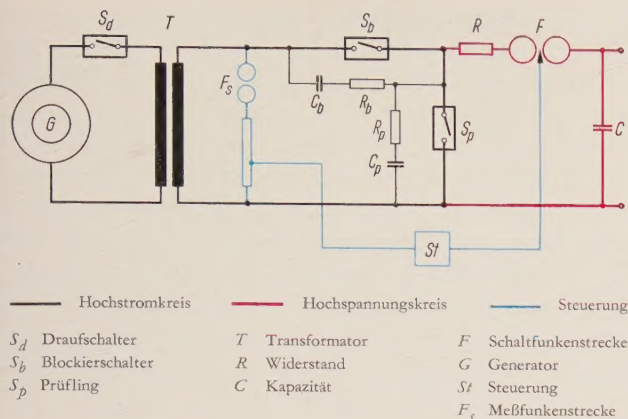


Bild 7 Synthetische Prüfschaltung: Siemens-Komponentenschaltung; vereinfachter Schaltplan

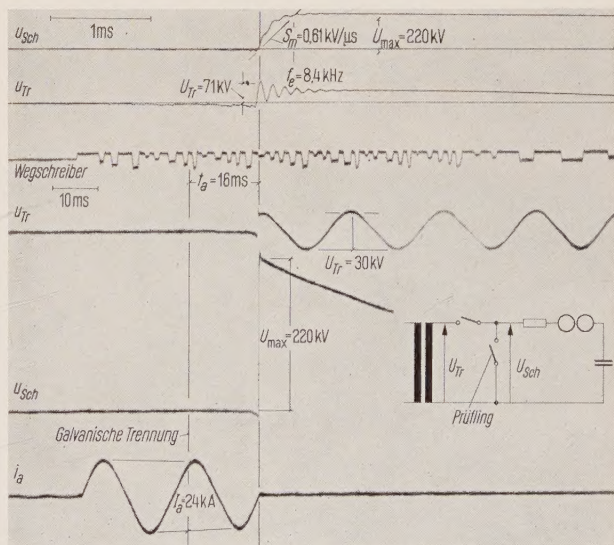
beweisend. Was durch dieses Verfahren im Grunde genommen nicht exakt geprüft wird, ist die Neuzündung über den Felddurchschlag, weil bei Vorbeanspruchung der Schaltstrecke durch den vollen Ausschaltstrom nicht mit der vollen wiederkehrenden Spannung geprüft wird. Daher wurde ein neues Verfahren entwickelt, um die zu kleine Einschwingspannung des Hochstromkreises (Generator mit Transformatoren) durch Superponierung einer Zusatzspannung aus einem Hochspannungskreis auf den vollen Wert zu bringen. Die Einschwingspannung wird in diesem Verfahren also aus zwei Komponenten zusammengesetzt. Die Schwierigkeit bei diesen sogenannten synthetischen Prüfschaltungen besteht darin, die Zusatzspannung vollkommen pausenlos zu überlagern und im Nulldurchgang und dem unmittelbar anschließenden Zeitbereich exakte Verhältnisse für die Spannungsbeanspruchung des Schalters zu schaffen. In einer neuentwickelten synthetischen Prüfschaltung [3], der Siemens-Komponentenschaltung, sind diese Grundforderungen erfüllt worden (Bild 7).

Über eine Meßfunkenstrecke F_s wird die ansteigende Einschwingspannung des Transformators gemessen. Die Meßfunkenstrecke ist so eingestellt, daß sie kurz vor dem Scheitel dieser Einschwingspannung anspricht und über einen Verstärker eine Schaltfunkenstrecke F über einen Trigger-Funken mit einer Zeitgenauigkeit von 1 bis $2 \mu s$ zündet und, entscheidend wichtig, ohne Spannungsunterbrechung, also ohne Unterbrechung der dielektrischen Beanspruchung, die Spannung des geladenen Kondensators C auf die Einschwingspannung des Transformators aufsetzt. Die Einschwingspannung des Transformators wird nach dem Nulldurchgang des Stromes bei offenem Blockierschalter S_b über den Parallelpfad, den die Kondensatoren C_b und C_p bilden, an den Prüfling S_p herangebracht. Die umfangreichen Schutz Einrichtungen sind in Bild 7 nicht enthalten.

Ausschaltversuche

Die Schaltversuche im Gebiet der Nennausschaltleistung wurden, wie schon bemerkt, nicht mit dem

Nennausschaltstrom von 21 kA durchgeführt, sondern mit 24 kA, d. i. dem 1,15fachen Nennausschaltstrom. Bild 8 zeigt ein Oszillogramm einer solchen Ausschaltung bei einem Scheitelwert der Einschwingspannung von 220 kV, einer Anfangsteilheit von etwa $1,65 \text{ kV}/\mu s$ und einer mittleren Teilheit von $0,61 \text{ kV}/\mu s$. Die Anfangsteilheit ist viel höher als die Teilheit nach VDE 0670; sie beansprucht also die Schaltstrecke härter. Die wiederkehrende Spannung ist in diesem Fall nicht als Schwingspannung ausgebildet, sondern als aperiodisch ansteigende Spannung, was ebenfalls zu einer härteren dielektrischen Beanspruchung der Schaltstrecke führt als eine oszillierende Spannung. Aus dem Oszillogramm erkennt man, daß der Schalter die Ausschaltleistung glatt bewältigt. Die äußeren Begleiterscheinungen einer Ausschaltung kann das Oszillogramm allerdings nicht zeigen. Diese sind bei dem neuen Schalter sehr gering. Ein Auswurf von Öl findet dank des geschlossenen Schalterkopfes nicht statt. Lediglich ein kaum hörbares und sichtbares Austreten von Schaltgasen, deren Geschwindigkeit durch ein Labyrinth stark gedrosselt ist, kann festgestellt werden. Das Schaltgeräusch ist sehr gering und nicht größer als beim Leerschalten. Diese Geräuscharmheit ist besonders wichtig im Hinblick auf den Einsatz der 110-kV-Schalter in Innenräumen und in Freiluftanlagen im Bereich von Wohnungen.



$I_a = 1,15 I_{a \text{ Nenn}} = 24 \text{ kA}$	Ausschaltstrom
$U_w = \frac{U_{\text{Nenn}}}{\sqrt{3}} \cdot 1,5 = 95 \text{ kV}$	Wiederkehrende Polspannung
$U_{\text{max}} = 220 \text{ kV}$	Aperiodische Wiederkehrspannung, Höchstwert
$S_m = 0,61 \text{ kV}/\mu s$	Mittlere Teilheit der Wiederkehrspannung entsprechend einer Einschwingfrequenz $f_e = 1,5 \text{ kHz}$ und einem Überswingfaktor $\gamma = 1,5$
$S_d = 1,65 \text{ kV}/\mu s$	Anfangsteilheit bis 30% U_{max}

Prüfschaltung: Siemens-Komponentenschaltung

Bild 8 Oszillogramm einer Kurzschlußausschaltung

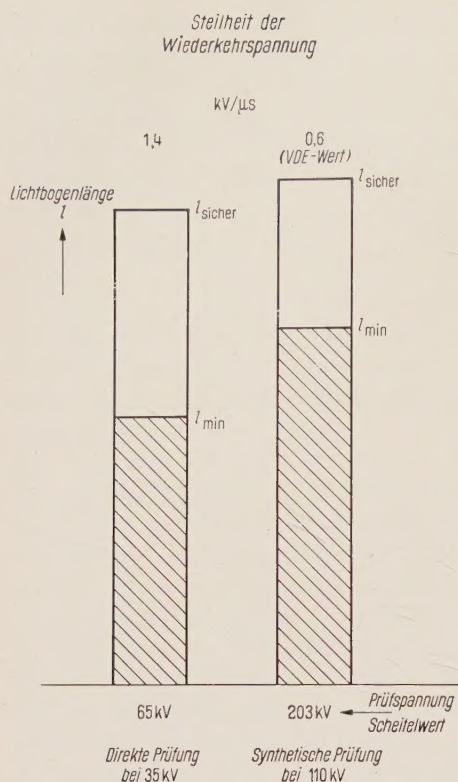
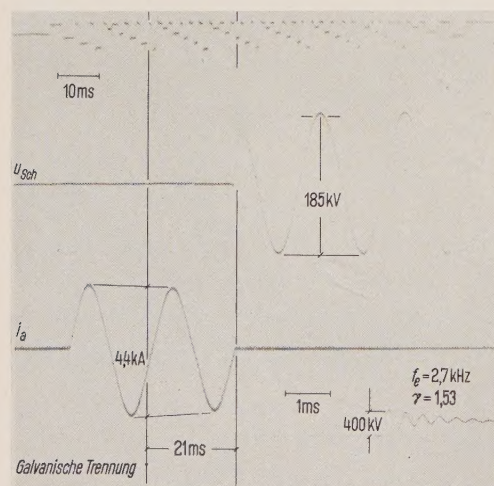


Bild 9 Licht-
bogenlängen
bei reduzierter
und voller
Prüfspannung,
Ausschalt-
strom 24 kA

Sehr aufschlußreich ist der Vergleich der Lichtbogenlänge bei verringerter und voller Prüfspannung. In Bild 9 sind die minimalen und sicheren Löschdistanzen eingezeichnet. Unter minimaler Löschdistanz ist diejenige Distanz zu verstehen, bei der bei einem Stromnulldurch-



i_a = 4,4 kA Ausschaltstrom
 U_w = 185 kV Wiederkehrende Polspannung
 f_e = 2,7 kHz Einschwingfrequenz
 γ = 1,53 Überschwingfaktor
 S_m = 2,16 kV/ μ s Mittlere Steilheit von U_w

Rechts unten:
Elektronenstrahl-
oszillogramm der
Einschwingspannung

Bild 10 Oszillogramm einer einpoligen Ausschaltung
bei Phasenopposition

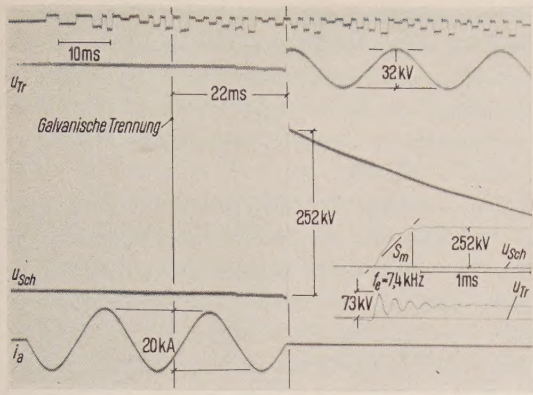
gang die ersten Löschungen möglich sind, wogegen der Schalter bei und nach der sicheren Löschdistanz bei Vorliegen von Nulldurchgängen stets löscht. Man entnimmt dem Bild die wichtige experimentelle Erkenntnis: Auch nach Vorbeanspruchung durch den vollen Ausschaltstrom ist die sichere Löschdistanz bei voller Prüfspannung nur wenig größer als bei verringerter Spannung. Die Differenz der minimalen Löschentfernungen ist größer, weil die Löschwahrscheinlichkeit bei diesen geringen Distanzen definitionsgemäß noch gering ist. Die durch Bild 9 veranschaulichte hohe Spannungsfestigkeit der Schaltstrecke des Expansionsschalters nach einer Kurzschlußabschaltung zeigt indirekt die relative Unabhängigkeit dieser Schalterart von der Steilheit und Höhe der Einschwingspannung. Daher wird auch der neuerdings viel diskutierte Abstandkurzschluß von diesem Schalter leicht beherrscht. Im übrigen bestätigt der Vergleich die Zulässigkeit des bisher angewandten Prüfverfahrens der korrespondierenden Ströme und Spannungen im Falle des Expansionsschalters.

Ausschalten bei Phasenopposition,
Doppelerdschluß, Kurzunterbrechung

Mit gleicher Gründlichkeit und mit den gleichen Untersuchungsverfahren wurde auch das Ausschalten von Kurzschlußströmen bei Phasenopposition, Doppelerdschluß und Kurzunterbrechung untersucht. Grundsätzlich unterscheiden sich diese Schaltfälle nicht von dem normalen Ausschalten von Kurzschlußströmen. Bei Phasenopposition ist die Spannung höher, der Schaltstrom aber kleiner. Entsprechend den üblichen Forderungen wird bei der einpoligen Prüfung mit der 1,6fachen Dreiecksspannung und dem 0,25fachen Nennausschaltstrom bei reduzierter Eigenfrequenz und reduziertem Überschwingfaktor der Einschwingspannung geprüft. Dies bedeutet eine Prüfung mit 175 kV und 5,25 kA. Beim Abschalten eines Doppelerdschlusses ist die Spannung in dem löschenden Schalterpol ebenfalls größer, statt $1,5 U_{\text{Y}}$ ist sie $\sqrt{3} U_{\text{Y}} = U_{\Delta}$. Der Schaltstrom ist dabei aber auf den Wert $(\sqrt{3}/2) I_{\text{KIII}}$ herabgesetzt.

Die Bilder 10 und 11 zeigen charakteristische Oszillogramme dieser Schaltfälle. Die Ausschaltungen werden mühelos bewältigt. Bei der Prüfung unter Phasenopposition wurde der Soll-Strom nicht ganz erreicht (Begrenzung durch die Prüfanlage), jedoch wurden, erschwerend, die Eigenfrequenzen und der Überschwingfaktor sehr viel höher, die Spannung etwas höher gewählt.

Etwas anders gelagert ist der Fall des Ausschaltens von Kurzschlußströmen im Kurzunterbrecherzyklus. Vorgeschrieben ist die Prüfung in der Folge »Aus – Pause – Ein Aus«. Die Pause soll die kürzeste gewährleistete Pausenzeit sein. Die erste Ausschaltung entspricht voll dem Fall der normalen Kurzschlußabschaltung. Die zweite Ausschaltung stellt an den Schalter besondere Anforderungen. Der Schalter soll bei der zweiten Ausschaltung mit der gleichen Löschintensität wirken wie bei der



I_a = 20 kA Ausschaltstrom
 U_w = 113 kV Wiederkehrende Polspannung
 U_{max} = 252 kV Aperiodische Wiederkehrspannung, Höchstwert
 S_m = 0,72 kV/ μ s Mittlere Steilheit der wiederkehrenden Spannung
entsprechend einer Einschwingfrequenz f_e = 1,5 kHz
und einem Überschwingfaktor γ = 1,5
 S_d = 1,4 kV/ μ s Anfangsteilheit bis 30% U_{max}

Prüfschaltung: Siemens-Komponentenschaltung. Rechts unten: Elektronenstrahloszillogramm der aperiodischen Einschwingspannung

Bild 11 Oszillogramm einer Ausschaltung bei Doppelerdschluß

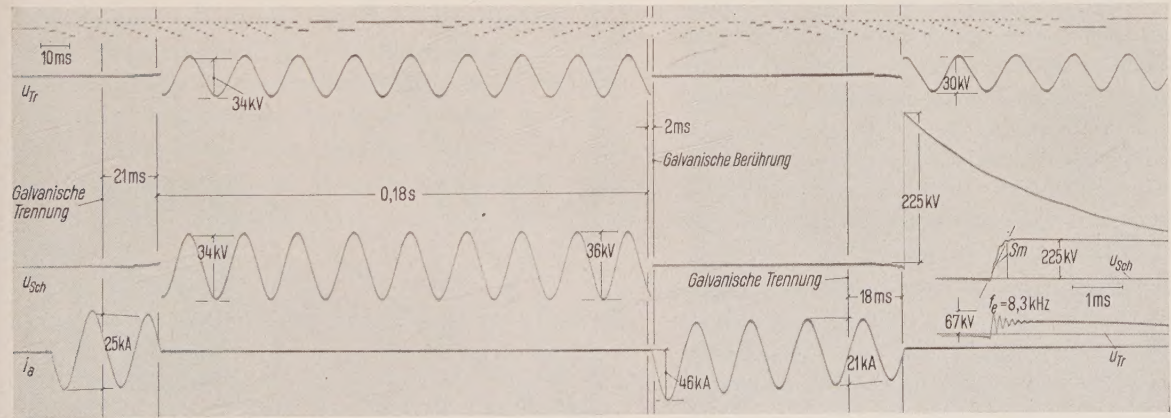
ersten, obwohl er durch die erste Ausschaltung vorbeansprucht ist. Es ist gelungen, insbesondere durch die Ausbildung der Löschkammer und des Schalterkopfes sowie der Löschmittelführung, diese Eigenschaft sicherzustellen.

Die Schwierigkeit für die beweisende Prüfung des Kurzunterbrecherzyklus liegt darin, daß die synthetische Prüfung auch auf die zweite Ausschaltung angewendet wer-

den muß. Wollte man die erste und die zweite Ausschaltung der synthetischen Prüfung unterwerfen, so würde der Aufwand sehr groß werden. Da die erste Ausschaltung durch die normale Ausschaltprüfung aber als nachgewiesen angesehen werden kann, genügt es, die synthetische Prüfung lediglich für die zweite Ausschaltung einzusetzen und die erste Ausschaltung mit reduzierter Spannung bei vollem Strom durchzuführen. Dies erfordert eine Weiterentwicklung der Steuerung. Es ist gelungen, diese Aufgabe zu lösen und auch für die Kurzunterbrechung die synthetische Prüfung routinemäßig anzuwenden. Bild 12, ein aus einer Vielzahl ausgewähltes charakteristisches Oszillogramm, zeigt, daß auch dieser Schaltfall und besonders die zweite Ausschaltung einwandfrei beherrscht wird.

Einschalten von Kurzschlußströmen

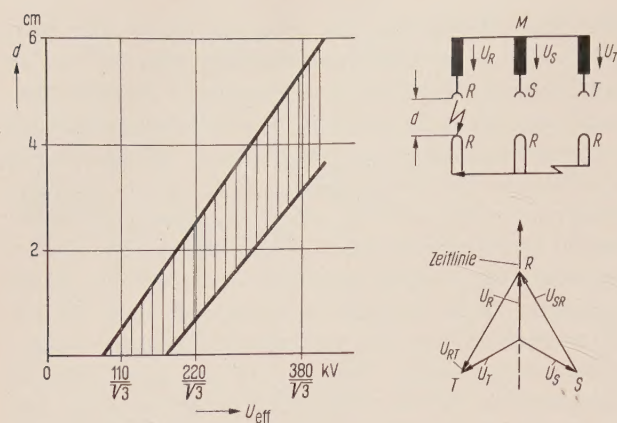
Das Problem des Einschaltens von Kurzschlußströmen bei Hochspannungsschaltern wurde sehr genau und eingehend untersucht. Dieses Problem läßt sich rein dielektrisch weitgehend klären, da offenbar die physikalisch-technischen Voraussetzungen nicht durch den einzuschaltenden Strom, sondern durch die dielektrischen Bedingungen im Schalter gegeben sind. Untersucht wurde, wie immer, unter den ungünstigsten Umständen: Der Schalter war mit Öl gefüllt, das durch eine Anzahl von Ausschaltungen mit vollem Kurzschlußstrom vorbeansprucht und durch einen künstlichen Feuchtigkeitszusatz weiter verschlechtert worden war. Auch die Schaltkammereinsätze waren diesen Vorbeanspruchungen ohne nachträgliche Wartung unterworfen.



Erste Ausschaltung:		Zweite Ausschaltung:	
I_a = 25 kA	Ausschaltstrom	I_a = 21 kA	Ausschaltstrom
U_w = 34 kV	Wiederkehrende Polspannung	U_w = 104 kV	Wiederkehrende Spannung entsprechend $\frac{120}{\sqrt{3}} \cdot 1,5$
f_e = 8,3 kHz	Einschwingfrequenz von U_w	U_{max} = 225 kV	Aperiodische Wiederkehrspannung, Höchstwert
γ = 1,7	Überschwingfaktor	S_m = 0,66 kV/ μ s	Mittlere Steilheit der Wiederkehrspannung
S_m = 1,3 kV/ μ s	Mittlere Steilheit von U_w		entsprechend einer Einschwingfrequenz f_e = 1,5 kHz
Einschaltung:			und einem Überschwingfaktor γ = 1,5
I_e = 46 kA	Einschaltstrom	S_d = 1,8 kV/ μ s	Anfangsteilheit bis 30% U_{max}
Pausenzeit zwischen Aus und Ein: 0,18 s			

Prüfschaltung bei zweiter Ausschaltung: Siemens-Komponentenschaltung. Rechts unten: Elektronenstrahloszillogramm der aperiodischen Einschwingspannung

Bild 12 Oszillogramm einer einpoligen Aus-Ein/Aus-Schaltung (Kurzunterbrecherzyklus)



U_{eff} Effektivwert der Spannung d Durchschlagdistanz

Bild 13 Durchschlagdistanzen beim Einschalten; Netzsternpunkt und Kurzschlußverbindung nicht geerdet

Hochspannungsschalter schalten über einen Vorüber-schlag ein. Bei Annäherung der Schaltstifte an die Gegen-schaltstücke steht zunächst über jeder Schaltstrecke die Sternspannung an.

Wird bei der Annäherung die Durchschlagdistanz erreicht, so schlägt diejenige Schaltstrecke über, an der gerade die höchste Spannung anliegt. Dadurch wird die Spannung über die beiden anderen Schaltstrecken auf die Dreiecksspannung gebracht. Diese Schaltstrecken folgen unmittelbar nach, da die nunmehr anliegende Spannung über der zugehörigen Durchschlagsspannung dieser Strecken liegt.

Bild 13 zeigt das Ergebnis dieser grundsätzlichen dielektrischen Untersuchungen. Sie wurden an den 110-kV-Schaltkammereinsätzen bis auf 380 kV ausgedehnt. Die Durchschlagdistanzen bei 110 kV betragen 0 bis 1 cm; auch bei 380 kV wurden nicht mehr als 6 cm gemessen. Die dielektrischen Untersuchungen wurden durch Leistungsversuche im Hochleistungsversuchsfeld ergänzt und kontrolliert, indem bei vollem Kurzschlußstrom – 55 kA Scheitelwert – eingeschaltet wurde. Da die Einschaltstrecken so außerordentlich kurz sind, sind die Lichtbogenleistungen nur unbedeutend.

Diese Zahlen verdeutlichen die außerordentliche Sicherheit des neuen Expansionsschalters für 110 kV; sie wird im wesentlichen dadurch erreicht, daß die Schaltkammer sorgfältig nach dielektrischen Gesichtspunkten bemessen und als Druckkammer ausgebildet ist.

Schalten kleiner Ströme

Kapazitive Ströme

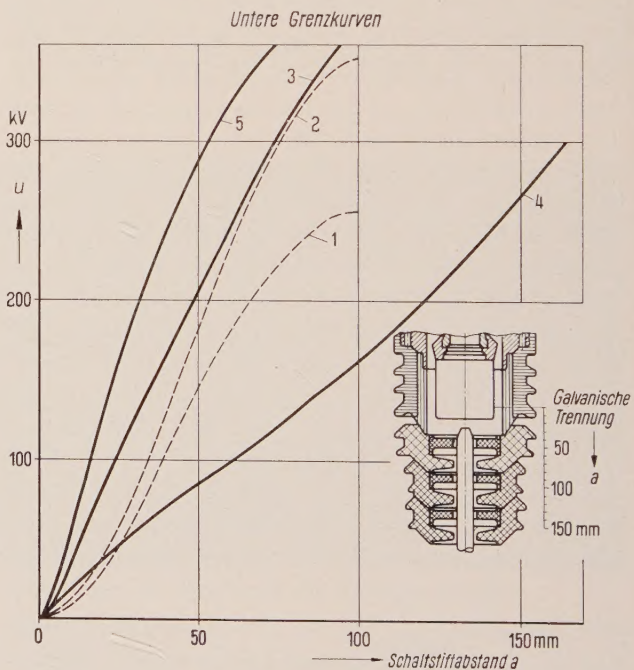
Eines der Entwicklungsziele für den Schalter H 800 war, wieder- und rückzündungsfreies Schalten von kapazitiven Strömen zu erreichen in der Erkenntnis, daß dies für den Netzbetrieb erhebliche Vorteile bringt. Auch unter schwierigen Netzbedingungen treten bei wieder- und rückzündungsfreiem Schalten keine Überspannungen auf. Bei diesem Schaltfall kommt es darauf an, eine sehr hohe

dielektrische Festigkeit in der Kammer unmittelbar nach der Kontakttrennung zu erzwingen. Es handelt sich hierbei in erster Linie um rein dielektrische Probleme, d. h. um die Ermittlung der Spannungskennlinie des Schalters im unbelasteten oder schwach belasteten Zustand (Leerlaufkennlinie).

In sehr umfangreichen dielektrischen Untersuchungen und unter Zuhilfenahme von Zeitlupenaufnahmen wurden die Voraussetzungen für die hohe Spannungsfestigkeit ermittelt. Gleichzeitig wurden die Schaltvorgänge theoretisch untersucht, um Unterlagen für ihre Nachbildung im Versuchsfeld mit konzentrierten Kapazitäten zu gewinnen. Einen Ausschnitt aus den dielektrischen Untersuchungen im Hochspannungsversuchsfeld gibt Bild 14.

Die gestrichelten Kurven zeigen die Spannungsbeanspruchung der Schaltstrecke durch die wiederkehrende Spannung unter Einbeziehung von Sicherheiten für den Fall des einpoligen Schaltens kapazitiver Ströme. Diese Kurven stellen $(1 - \cos)$ -Linien dar. Sie erreichen nach einer Halbwelle den Wert von 260 bzw. 360 kV. Die Kurven 3, 4 und 5 sind Leerlaufkennlinien eines Schaltermodells unter verschiedenen Bedingungen.

Die Kurve 4 ist die Leerlaufkennlinie bei normal bewegtem Schaltstift; die Kurve 3 gilt für den Fall, daß der Schaltstift schrittweise bewegt wird und daß bis zur



" Spannung

- 1 Spannungsbeanspruchung im normalen Betriebsfall bei isoliertem Sternpunkt
- 2 Spannungsbeanspruchung bei Erdschluß des Netzes mit isoliertem Sternpunkt
- 3 Durchschlagsspannung bei feststehendem Schaltstift ohne Drucköleinspritzung
- 4 Durchschlagsspannung bei bewegtem Schaltstift ohne Drucköleinspritzung
- 5 Durchschlagsspannung bei bewegtem Schaltstift mit Drucköleinspritzung

Bild 14 Kapazitives Schalten bei 110 kV. Grundsätzliche dielektrische Versuche

der zugehörigen Durchschlagspannung jeweils die Beruhigung des Öles abgewartet wird (feststehender Schaltstift). Die beträchtlichen Unterschiede zwischen beiden Kurven sind darauf zurückzuführen, daß der bewegte Schaltstift hinter sich ein Leervolumen zurückläßt, das sich nicht augenblicklich, sondern nur allmählich im Verlauf von Millisekunden mit Öl füllen kann. Die Durchschlagfestigkeit ist also dadurch, daß Vakuumstrecken zwischengeschaltet sind, sehr gemindert. Wird in die Kammer Drucköl in ausreichender Menge und in richtiger Weise eingespritzt, so daß in der Schaltkammer ein genügend großer Druck entsteht, dann wird die Kurve 5 erzielt, die im ganzen Bereich über den Kennlinien der Spannungsbeanspruchung liegt. Die rein dielektrischen Untersuchungen wurden mit einem 110-kV-Schalter der endgültigen Ausführung durch einige hundert ein- und dreipolige Ausschaltversuche mit einer Kondensatorbatterie kontrolliert und untermauert. Bild 15 zeigt den charakteristischen Verlauf von Strom und Spannung bei einem dreipoligen Versuch mit $I_c = 42 \text{ A}$ und der stark überhöhten Netzspannung $U_w = 156 \text{ kV}$. Die Stromstärke war hierbei durch die Anlage begrenzt. Bild 16 zeigt einen einpoligen Versuch mit $I_c = 170 \text{ A}$ bei 110 kV. Dieser Versuch entspricht der Abschaltung einer Kabelstrecke von etwa 20 km Länge bei Erdschluß des speisenden Netzes, dessen Sternpunkt isoliert ist, oder einer Kabelstrecke von 34 km Länge bei Speisung aus einem 110-kV-Netz mit geerdetem Sternpunkt. Der Höchstwert der Wiederkehrspannung über die Schaltstrecke wäre im letzten Fall 180 kV; bei dem Versuch aber betrug dieser 320 kV. In diesen Werten zeigt sich die außerordentliche Spannungssicherheit des Schalters.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Schutzabschnitte für einen Schalter in einem großstädtischen Kabelnetz etwa 10 bis 15 km betragen. Zum weiteren Vergleich sei angeführt, daß die Ladeströme für die längsten zu schaltenden 110-kV-Freileitungen bei etwa 20 bis 30 A entsprechend 100 bis 150 km Leistungslänge liegen.

Die Untersuchungen im Versuchsfeld wurden durch Netzversuche in mehreren Kabel- und Freileitungsnetzen ergänzt.*

Kleine induktive Ströme

Transformatoren in 110-kV-Netzen haben eine Leistung von etwa 10 bis 200 MVA. Ihre Magnetisierungsströme liegen zwischen einigen Ampere und etwa 10 A; ältere Transformatoren können auch höhere Leerlaufströme haben. Werden die unbelasteten Transformatoren, also die reinen Magnetisierungsströme, abgeschaltet, so kann der Strom bereits vor dem netzfrequenten Nulldurchgang instationär werden und als hochfrequenter Ausgleichstrom in die Nebenkapazitäten des Netzes und der Transformatoren fließen und diese aufladen. Einen Anhalt für die Größe der zu erwartenden Überspannungen ergibt die Überlegung, daß sich die Energie des mit

diesem Ausgleichstrom verbundenen magnetischen Feldes in elektrische Energie der kapazitiven Speicher umsetzt nach der Gleichung $L \frac{i^2}{2} = C \frac{u^2}{2}$

Je kleiner die Speicherkapazität ist, um so höher wird die Ladespannung, d. h. die Überspannung in dem betreffen-

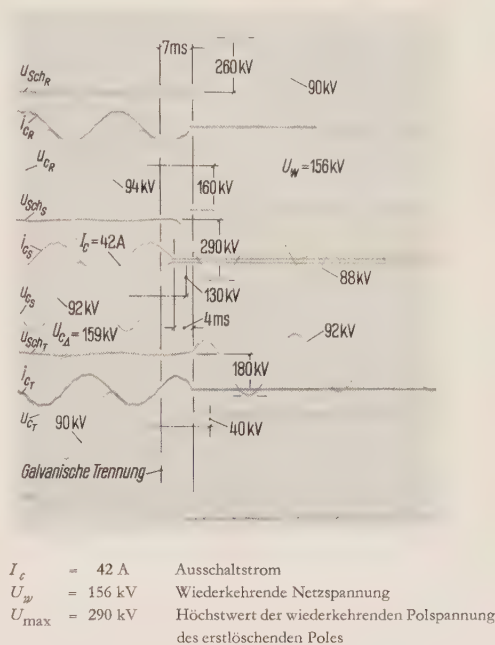


Bild 15 Oszillogramm einer dreipoligen Abschaltung einer Kondensatorbatterie bei stark erhöhter Spannung

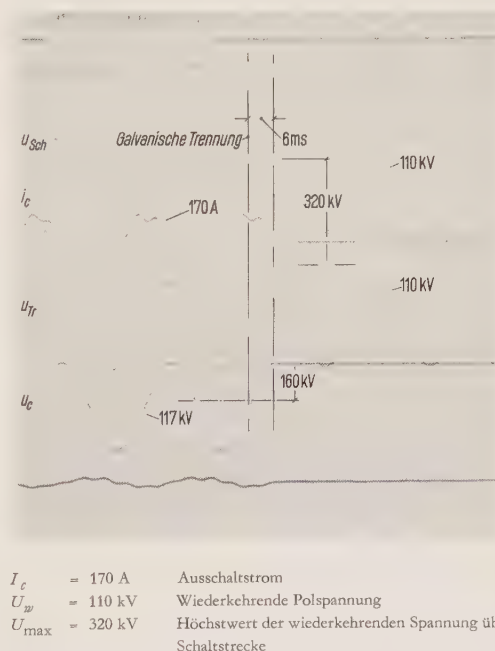
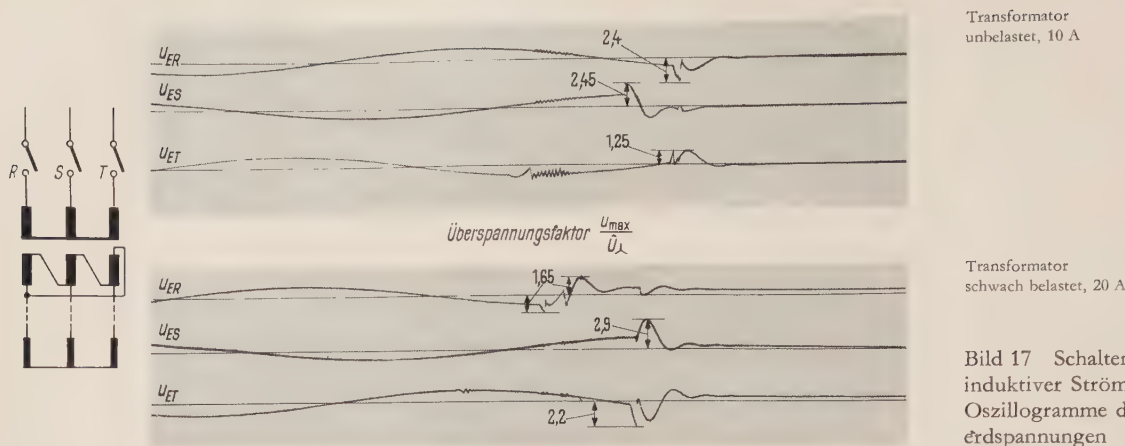


Bild 16 Oszillogramm einer einpoligen Abschaltung einer Kondensatorbatterie

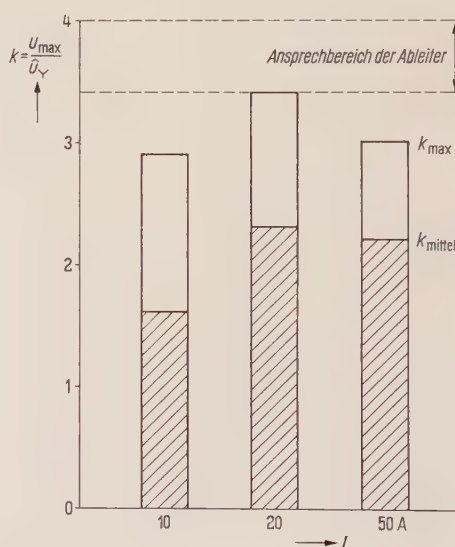
* Über Versuche im Netz der Bewag, Berlin, wird im nächsten Heft der Siemens-Zeitschrift berichtet.



den Netzteil. Der ganze Problemkreis ist statistischer Natur; er wird u. a. auch von dem Einbauort der Transformatoren beeinflusst. Die hohe Spannungsfestigkeit der Schaltstrecke bei kleinen Schaltstückdistanzen, wie sie für das Schalten von kapazitiven Strömen unumgänglich nötig ist, ist auch für das Schalten kleiner induktiver Ströme insofern günstig, als Stromnulldurchgänge schon bei kleinen Schaltstückabständen zu Löschungen führen. Andererseits wird, besonders bei zu heftiger Löschmittelströmung, die Existenz stromschwacher Lichtbögen erschwert und das Instationärwerden des Stromes begünstigt. Nur durch das Experiment ist zu ermitteln, ob bei Erfüllung der ersten Forderung die zweite nicht zu stark benachteiligt wird. Um diese Frage zu klären, wurde im Hochleistungsversuchsfeld das folgende betriebsnahe Prüfverfahren angewendet: Das Hochleistungsprüffeld verfügt über sechs Einphasentransformatoren gleicher Leistung. Aus diesen sechs Einheiten wird ein dreipoliger Prüfkreis gebildet, wobei je drei Einheiten für die Speisung und als Belastung verwendet werden. Mit dem dreipoligen Prüfkreis erhält man besonders hinsichtlich der Oberwellen und der Dämpfung der Ausgleichvorgänge weitgehend netzgetreue Verhältnisse.

In dieser Anordnung wurden etwa 100 dreipolige Schaltversuche sowohl mit unbelasteten Transformatoren als auch mit durch Drosselspulen belasteten durchgeführt. Die Lichtbogenlängen ergaben sich erwartungsgemäß als sehr gering – Größenordnung: einige Zentimeter. Die aufgetretenen Überspannungen blieben innerhalb der zulässigen Grenzen. Bild 17 gibt zwei charakteristische Oszillogramme wieder. Bild 18 zeigt die gemessenen Überspannungsfaktoren bei dieser Versuchsreihe. Beim Abschalten des unbelasteten Transformators (bis 10 A) blieben sie unter dem 2,9fachen Wert des Scheitelwertes der Sternspannung. Das Ergebnis, kurze Lichtbogenlängen und geringe Überspannungen, darf als sehr günstig angesehen werden. Bei mit Drosselspulen belasteten Transformatoren wurden die Überspannungsfaktoren etwas größer. Gemessen wurden Werte bis zu 3,4. Allerdings

sprechen hier in einigen Fällen die Überspannungsableiter an. Es wurden auch Versuche in mehreren Netzen durchgeführt, die die Ergebnisse des Versuchsfeldes in vollem Umfange bestätigt haben.*



* Überspannungsfaktoren

Bild 18 Schalten kleiner induktiver Ströme bei 110 kV

Schrifttum

- [1] Kopplin, H. und Schmidt, E.: Beitrag zum dynamischen Verhalten des Lichtbogens in ölarmen Hochspannungs-Leistungsschaltern. Elektr. Techn. Z. A 79 (1958) 805 bis 811
Kopplin, H. und Schmidt, E.: Post-Arc Currents. Their Measurement and their Importance for the Interpretation of Interruptions in High Voltage Low Oil Content Circuit Breakers. Cigré-Berichte 107, 15. bis 25. 6. 1960
- [2] Mayr, O.: Beiträge zur Theorie des statischen und des dynamischen Lichtbogens. Archiv für Elektrotechn. 37 (1943) 588 bis 608
Mayr, O.: Über die Theorie des Lichtbogens und seine Löschung. Elektr. Techn. Z. A. 64 (1943) 645 bis 652
- [3] Pfäum, E. und Slamecka, E.: Neue synthetische Prüfschaltung zur Prüfung von Hochleistungsschaltern. Elektr. Techn. Z. A 82 (1961) 33 bis 38

* Über Versuche im Netz der Bewag, Berlin, wird im nächsten Heft der Siemens-Zeitschrift berichtet.

Die Weiterentwicklung elektrischer Triebfahrzeuge für Fernbahnen

VON FRITZ MARTEN

Seit 1945 haben viele Länder die Elektrifizierung ihrer Eisenbahnen fortgesetzt, um so die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken zu erhöhen. Andere Länder entschlossen sich erstmals, Eisenbahnstrecken auf elektrischen Betrieb umzustellen. Mit dem wachsenden Bedarf an elektrischen Triebfahrzeugen für Fernbahnen entstanden zugleich neue technische Probleme, wodurch die Entwicklung auf dem Gebiet des Fahrzeugbaues beeinflusst und vorangetrieben wurde.

Als Energieform für elektrische Triebfahrzeuge eignen sich sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom; beim Wechselstrom sind verschiedene Frequenzen, z. B. 50 und $16\frac{2}{3}$ Hz, gebräuchlich. Diese verschiedenen Arten von Bahnstromsystemen sind vor allem im Zusammenhang mit der Entwicklung geeigneter Fahrmotoren für die Triebfahrzeuge entstanden.

Zum Antrieb elektrischer Triebfahrzeuge sind nur solche Motoren geeignet, deren Leistungsaufnahme sich bei der im Bahnbetrieb ständig wechselnden Zugkraftbelastung verhältnismäßig wenig ändert. Diese Bedingung erfüllen Gleichstrom-Reihenschlußmotoren aufgrund ihrer Charakteristik in besonderem Maße. Dies war auch die Ursache für das Entstehen der Gleichstromsysteme bei Beginn der Fernbahnelektrifizierung. Da jedoch die Antriebsausrüstung von Gleichstrom-Triebfahrzeugen unmittelbar an der Fahrdrabtspannung liegt und diese mit Rücksicht auf die Unterbringung der Fahrmotoren im Drehgestell und die Betriebssicherheit der Schaltgeräte in der Praxis bei 3000 V eine obere Grenze hat, steigt der Aufwand an Fahrdrabtkupfer und Unterwerken bei hochbelasteten Gleichstrom-Bahnnetzen sehr stark und beeinträchtigt dadurch die Wirtschaftlichkeit dieses Stromsystems.

Es war daher für die stark belasteten Netze Mitteleuropas schon sehr früh notwendig, nach Möglichkeiten zu suchen, Wechselstrom zum Speisen der Fahrleitungen heranzuziehen. Transformatoren auf den Triebfahrzeugen ermöglichen hierbei nicht nur die Anwendung einer hohen Fahrdrabtspannung, die dann in den Fahrzeugen auf einen für die Antriebsausrüstung günstigen Wert transformiert wird, sondern lassen zusätzlich eine einfache und verlustarme Regelung der Motorspannung zu. Schwierig war es jedoch, einen für Wechselstrom geeigneten Motor zu entwickeln, der dem Gleichstrommotor hinsichtlich Charakteristik und Laufleistung ebenbürtig ist. Trotz vieler Versuche mit anderen Motorarten erwies

sich der Wechselstrom-Kommutatormotor mit Reihenschlußwicklung als die günstigste Lösung. Da jedoch der Wechselstrom, abhängig von der Frequenz und dem Hauptpolfluß, den Kontakt Bürste-Kommutator zusätzlich beansprucht, mußte trotz des beschränkten Einbauräumen bei diesen Motoren nicht nur die Polleistung gegenüber den Gleichstrommotoren erheblich herabgesetzt werden, sondern zur Erzielung einer wirtschaftlichen Laufleistung auch auf die Speisung aus den 50-Hz-Landesnetzen verzichtet und eine Sonderfrequenz von $16\frac{2}{3}$ Hz zum Speisen der Fahrleitung gewählt werden. Die schwereren Transformatoren und das besondere Primärnetz mußten mit Rücksicht auf die Motorausrüstung in Kauf genommen werden.

Wegen der großen Vorteile, die die Speisung der Bahnfahrzeuge aus den vorhandenen 50-Hz-Netzen bietet, fehlte es auch in der Folgezeit nicht an Versuchen, um für dieses System eine geeignete und vor allem leistungsfähige Antriebsausrüstung zu entwickeln. Umfangreiche Versuche der Deutschen Reichsbahn in der Mitte der dreißiger Jahre auf der Höllentalstrecke und später auch Versuche der französischen Staatsbahn brachten die Erkenntnis, daß die Gleichrichterlokomotive für das 50-Hz-System die aussichtsreichste Lösung des 50-Hz-Antriebes darstellt. Allerdings fehlte es anfangs an einer für den Bahnbetrieb geeigneten Gleichrichterart. Doch konnte diese Lücke dann durch die Entwicklung der leistungsfähigen Silizium-Gleichrichter [1] geschlossen werden, die erstmals von den Siemens-Schuckertwerken im Jahre 1957 auf einem Triebfahrzeug der Deutschen Bundesbahn mit Erfolg verwendet wurden [2].

Als Fahrmotor für diese 50-Hz-Gleichrichterlokomotiven ist jedoch der Gleichstrommotor nur mit gewissen Abwandlungen geeignet, da der gleichgerichtete Einphasenstrom neben dem Gleichstromanteil einen Wechselstromanteil zweifacher Netzfrequenz enthält (Mischstrom). Störend für den Kontakt Bürste-Kommutator wirken hier Restspannungen, die ihren Ursprung in den vom Hauptfeld induzierten Wechselspannungen und in der Phasenverschiebung der Wechselstromkomponente der Wendefeldspannung durch die dämpfende Wirkung der massiven Eisenteile haben. Bild 1 zeigt das Stromwendediagramm eines solchen »Mischstrommotors« im Vergleich zum Gleichstrom- und Wechselstrommotor. Eine Verkleinerung der Restspannung ist möglich durch Zwischenschalten von Glättungsdröseln, die den

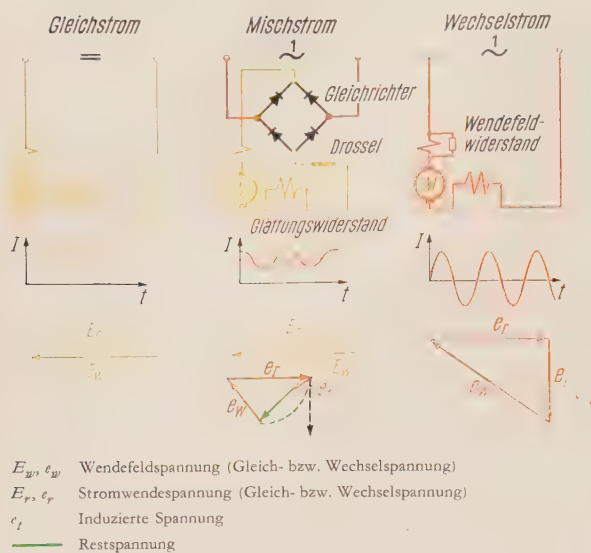


Bild 1 Stromwendung bei Reihenschluß-Fahrmotoren

Wechselstromanteil verkleinern, oder auch durch Blechung des Wendepolkreises oder des Ständers zum Vermeiden einer Phasenverschiebung der Wendefeldspannung. Im letztgenannten Fall muß zum Unterdrücken der induzierten Spannung e_i noch ein zusätzlicher Dämpfungswiderstand parallel zum Hauptfeld vorgesehen werden.

Bei 50-Hz-Fahrzeugen ist die Ausführung mit zusätzlicher Glättungsdrossel zweckmäßig, weil diese hier nur etwa 10% des Motorgewichtes beansprucht. Bei niedrigeren Frequenzen steigt jedoch das notwendige Drosselgewicht so stark an, daß dem zweiten Weg der

Vorzug gegeben wird. Ein solcher Mischstrommotor hat jedoch auch in dieser »Wechselstrombauweise« gegenüber dem reinen Wechselstrommotor den Vorteil der kleinen Polzahl und damit des geringeren Gewichtes (Bild 2).

Eine Betrachtung der verschiedenen Stromsysteme für Fernbahnen vom heutigen Stand der Technik läßt für die zukünftige Entwicklung folgende Schlüsse zu: Die Gleichstromsysteme haben wegen ihrer begrenzten Leistungsfähigkeit bei Neuelektrifizierungen und aufgrund der Entwicklung des 50-Hz-Systemes an Bedeutung verloren. Dies gilt besonders für solche Länder, die sich erstmals zur Einführung der elektrischen Zugförderung entschließen, weil in diesen Ländern die Energieversorgungsleitungen häufig parallel zu den Bahnlinien verlaufen, die neu erschlossene Industriegebiete mit den Verbraucherzentren verbinden. Hier bietet sich somit eine Stromversorgung nach dem 50-Hz-System mit einfachen Transformator-Unterwerken durch Anschluß an diese Leitungen an. Eine Umstellung bestehender Gleichstromsysteme ist dagegen nur dort zweckmäßig, wo die Länge der elektrifizierten Bahnstrecken noch gering ist und in Zukunft eine große Steigerung der Förderleistung zu erwarten ist, zumal heute auch bei den Gleichstromnetzen durch ferngesteuerte Unterwerke mit Silizium-Gleichrichtern eine Senkung der Betriebskosten möglich ist. Das 16²/₃-Hz-System ist in den vergangenen Jahrzehnten auf einen so hohen technischen Stand gebracht worden [3] und erfüllt heute und auch künftig alle Anforderungen an ein elektrisches Traktionssystem, daß selbst die Entwicklung eines leistungsfähigen 50-Hz-Antriebes mit Silizium-Gleichrichter keine Änderung der technischen Gesamtkonzeption zweckmäßig erscheinen läßt.

Links:
Mischstromfahrmotor
für CO'CO'-Lokomotive, Reihe K
 $N_h = 820 \text{ kW}$, $M_d = 935 \text{ kpm}$, 6 Pole

Rechts:
16²/₃-Hz-Fahrmotor
für die Lokomotive E 10¹
der Deutschen Bundesbahn
 $N_h = 812 \text{ kW}$, $M_d = 812 \text{ kpm}$, 14 Pole

Bild 2 Fahrmotoren (unten) und ihre Läufer (oben) für Mischstrom und Wechselstrom mit einer Frequenz von 16²/₃ Hz

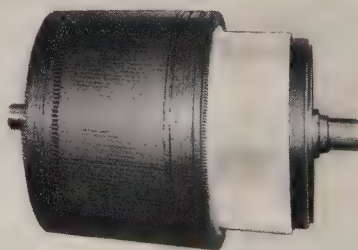
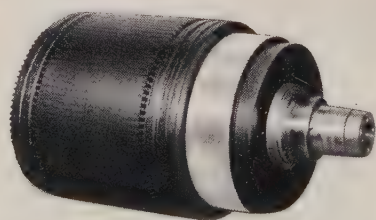




Bild 3 Zweifrequenz-lokomotive E 320.21 der Deutschen Bundesbahn für 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz und für 25 kV, 50 Hz im 50-Hz-Betrieb auf der Höllentalbahn (Schwarzwald)

Sofern sich überhaupt unter gleichen Voraussetzungen zwischen beiden Systemen in wirtschaftlicher Sicht Unterschiede ergeben, werden diese bei weitem durch die Vorteile aufgewogen, die eine durchgehende Elektrifizierung mit einem System durch Heraufsetzen der täglichen Laufleistungen der Triebfahrzeuge und durch die in wartungstechnischer Hinsicht gleichartigen Ausrüstungsteile bietet.

Während Elektrifizierungen in den einzelnen Ländern bisher meistens inselförmig vonstatten gingen und ungleiche Stromsysteme sich im internationalen Verkehr nicht störend bemerkbar machten, werden sich in Zukunft durch die fortschreitende Umstellung der Bahnlinien auf elektrischen Zugbetrieb mehr und mehr Übergangsstellen zwischen den verschiedenen Stromsystemen ergeben. So stoßen bereits heute im Saargebiet das 50-Hz-System der französischen Staatsbahn mit dem deutschen $16\frac{2}{3}$ -Hz-System zusammen. In der Schweiz und künftig auch im deutsch-holländischen und deutsch-belgischen Grenzgebiet treffen die verschiedenen Gleichstromsysteme mit den Wechselstromsystemen zusammen. Diese Entwicklung führte in Verbindung mit dem ständig wachsenden internationalen Verkehr zu der Notwendigkeit, zur reibungslosen Abwicklung des Übergangsverkehrs neue Fahrzeugtypen zu schaffen, die sich für zwei oder mehrere Stromsysteme eignen.

Es handelt sich hierbei um Mehrsystem-Triebfahrzeuge, die entweder als Mehrfrequenz-Triebfahrzeuge nur für die verschiedenen Wechselstromsysteme verwendet

werden können oder als Allstrom-Triebfahrzeuge sowohl für Gleichstrom- als auch für Wechselstromsysteme geeignet sind.

Die Mehrfrequenz-Triebfahrzeuge entsprechen in der Antriebsausrüstung den 50-Hz-Fahrzeugen, d. h., sie sind Gleichrichter-Triebfahrzeuge in der neuesten Form mit Silizium-Gleichrichtern (Bild 3). Die Größe der transformatorisch arbeitenden Bauteile ist durch die niedrigere Frequenz bestimmt [4].

Die Anpassung an die verschiedenen hohen Fahrdrachtspannungen geschieht zweckmäßigerweise durch Teilaussteuerung des Stufenschaltwerkes am Haupttransformator bis jeweils zur höchsten Fahrmotorspannung und durch Anzapfungen am Haupttransformator für die Hilfseinrichtungen.

Die Allstrom-Triebfahrzeuge entsprechen bezüglich ihrer Antriebsausrüstung 3000-V-Gleichstrom-Triebfahrzeugen. Die Anpassung an das 1500-V-Gleichstromsystem geschieht durch Parallelschalten je zweier Fahrmotoren, die bei Betrieb mit 3000 V ständig in Reihe geschaltet sind. Für die Wechselstromsysteme haben diese Fahrzeuge Wechselstrom-Gleichstrom-Netzgeräte mit einem für die verschiedenen Fahrdrachtspannungen umschaltbaren Haupttransformator sowie einen oder mehrere Silizium-Gleichrichter mit einer Ausgangsspannung von 1500 V (Bild 4). Bei den Fahrmotoren muß die Besonderheit des Betriebes mit Mischstrom beachtet werden. Eine wachsende Bedeutung erhalten solche Allstrom-Triebfahrzeuge in Form von Triebköpfen für Triebwagen im internationalen Verkehr (TEE), z. B. zwischen den Län-

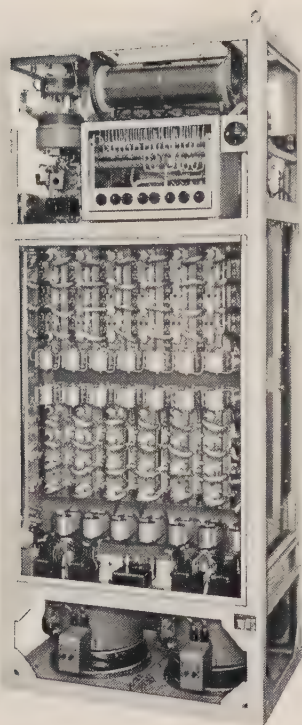


Bild 4 Silizium-Gleichrichter 3350 kW der TEE-Allstrom-Triebwagenzüge für 15 kV, 16²/₃ Hz, 25 kV, 50 Hz und 1500 V/3000 V Gleichstrom der Schweizerischen Bundesbahn

dern Deutschland, Österreich, Schweiz (15 kV, 16²/₃ Hz), Frankreich (25 kV, 50 Hz und 1500 V₋), Italien, Belgien (3000 V₋) und Holland (1500 V₋). Vorhandene Gleichstrom-Triebwagen lassen sich bei Verzicht auf das zweite Gleichstromsystem auf einfache Weise durch einen Bei-

wagen mit Netzgerät für die Wechselstromsysteme zu einem Allstrom-Triebwagen ergänzen, wodurch Reservehaltung und Wartung vereinfacht werden.

Bei allen Bahnverwaltungen ist wegen der Konkurrenz des Luftverkehrs die Tendenz nach Heraufsetzung der Höchstgeschwindigkeiten der Triebfahrzeuge vorhanden. Während bisher konstruktive Höchstgeschwindigkeiten bis 160 km/h üblich waren, werden künftig elektrische Triebfahrzeuge für Spitzengeschwindigkeiten von 200 km/h und darüber entwickelt werden müssen.

Die Beanspruchungen solcher Triebfahrzeuge und der eingebauten Ausrüstungsteile steigen damit beträchtlich. Das gilt in erster Linie für die Fahrmotoren, auf die die Schienenstöße am stärksten einwirken. Die Entwicklung und Verbesserung gefederter Antriebe ist daher für diese Triebfahrzeuge besonders wichtig. Die Bilder 5 und 6 zeigen die grundsätzliche Ausführung des Siemens-Gummiringfederantriebes und des Siemens-Gummi-Kardan-Hohlwellenantriebes, die für solche Triebfahrzeuge geeignet sind.

Besondere Beachtung verdient auch die Ausführung der Stromabnehmer für Triebfahrzeuge hoher Geschwindigkeit. Die Schleifleisten solcher Stromabnehmer müssen eine einwandfreie Stromabnahme auch bei Geschwindigkeiten sicherstellen, die den Umfangsgeschwindigkeiten der Schleifringbürsten von Turbogeneratoren entsprechen. Dabei stellt der Fahrdrabt infolge der periodisch ungleichen Massenverteilung durch die Aufhängungspunkte wesentlich schwierigere Bedingungen, und auch

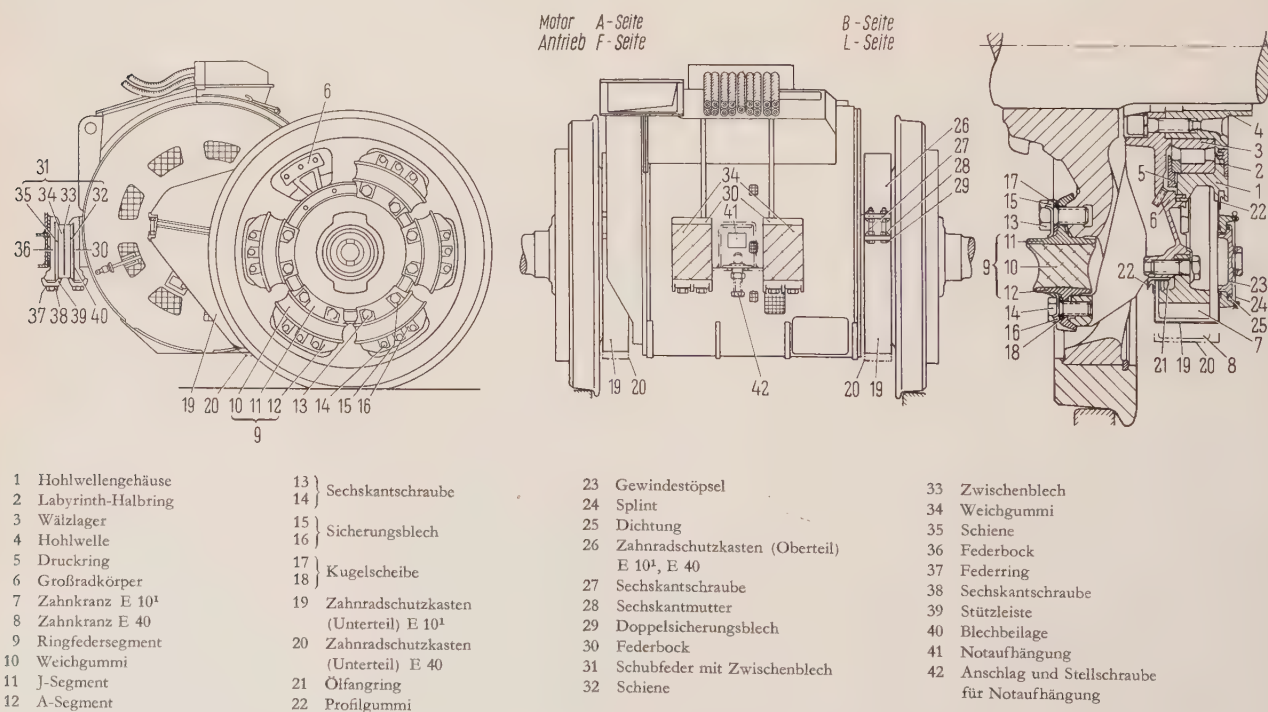


Bild 5 Siemens-Gummiringfederantrieb mit Fahrmotor der Serienlokomotiven der Deutschen Bundesbahn

der Stromabnehmer selbst arbeitet durch den Winddruck und die seitlichen Fahrzeugbewegungen unter ungünstigeren Voraussetzungen. Erste Forderung an einen solchen Stromabnehmer muß es daher sein, die zusätzlichen seitlichen Eigenschwingungen möglichst gering zu halten. Bild 7 zeigt den Aufbau eines Stromabnehmers, dessen Seitensteifigkeit durch eine einarmige Unterschere wesentlich erhöht wurde. Daneben spielen auch die richtige Massenaufteilung und die elastischen Eigenschaften für die möglichst unterbrechungslose Stromabnahme eine wesentliche Rolle.

Hohe Geschwindigkeiten setzen hohe Antriebsleistungen voraus, die bei gleichem, möglichst aber geringerem Achsdruck als bei den bisherigen Triebfahrzeugen aufgebracht werden müssen. Diese Forderung bedingt eine noch höhere Ausnutzung der Ausrüstungsteile in elektrischer und mechanischer Hinsicht. Höhere elektrische Beanspruchungen sind möglich durch neue Isolierstoffe mit höheren zulässigen Betriebstemperaturen, z. B. solche auf Siliconbasis, für die Wicklungen von Fahrmotoren und Drosseln, durch Verbesserungen der Alterungsbeständigkeit der Wicklungsisolation von Öltransformatoren sowie durch intensivere Kühlung der Ausrüstungsteile. Eine Steigerung der Kühlluftmenge ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die Luft staub- und wasserfrei in die Triebfahrzeuge eingesaugt werden kann. Hierbei muß beachtet werden, daß bereits heute Hochleistungslokomotiven eine stündliche Kühlluftmenge von etwa 100 000 m³ benötigen. Eine weitere Steigerung der Luftmenge ist auch wegen der begrenzten Größe



Bild 7 Stromabnehmer mit einarmiger Unterschere

niedriger Grenztemperatur vor solche mit höheren Verlusten oder hoher Grenztemperatur geschaltet werden.

Beispiele hierfür sind die gemeinsame Belüftung der Silizium-Gleichrichter und der Fahrmotoren mit Bypass-Belüftung der Glättungsdrosseln sowie die Belüftung der Ölkühler für den Haupttransformator vor den Bremswiderständen durch einen Lüfter, wobei zur Anpassung des Kühlluftbedarfs und zur Geräuschminderung, besonders im letzten Fall, noch eine Steuerung der Drehzahl des Lüfters zweckmäßig ist.

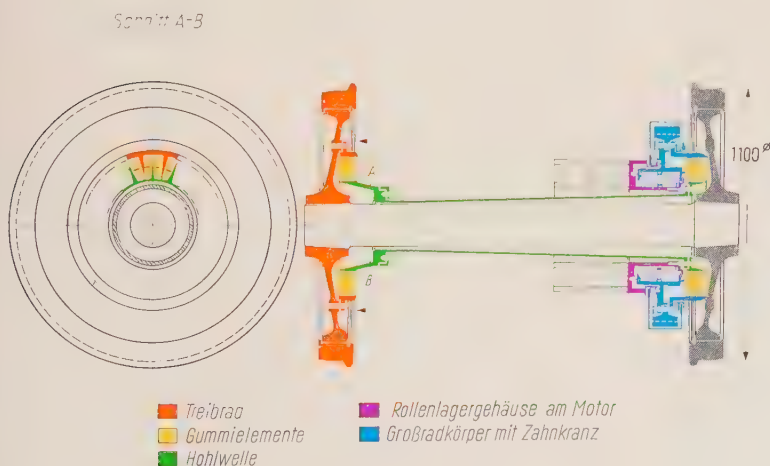


Bild 6 Siemens-Gummi-Kardan-Hohlwellenantrieb

der seitlichen Lüftungsgitter und in Anbetracht der Geräuschbelastigung für das Personal und die Reisenden auf den Bahnsteigen kaum noch möglich. Damit bleibt nur der Weg einer mehrfachen Ausnutzung der angesaugten Luft, wobei Geräte mit geringen Verlusten oder

Die erhöhte Ausnutzung hat aber auch eine Senkung der thermischen Zeitkonstante der elektrischen Geräte zur Folge. Damit kommt dem Schutzproblem für diese Geräte besondere Bedeutung zu. Ein besonders charakteristisches Beispiel hierfür ist der Schutz der Silizium-Gleichrichter auf Bahnfahrzeugen. Silizium-Gleichrichter sind gegen längere Überbeanspruchungen empfindlich, da infolge ihrer hohen Ausnutzung ihre Masse und damit ihre Zeitkonstante klein ist. Für den Gleichrichter wurde deshalb von den Siemens-Schuckertwerken eine elektronisch arbeitende Schutzeinrichtung

mit Schnelltrennern entwickelt [4], die Überströme innerhalb einer Halbwelle selektiv, leistungslos und überspannungsfrei abschaltet. Dabei beansprucht diese Einrichtung an Raum und Gewicht nur einen Bruchteil des Aufwandes für einen Schnellschalter oder für einen

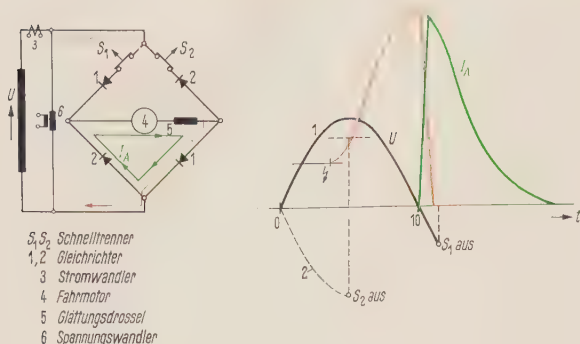


Bild 8 Gleichrichter-Kurzschlußschutz mit Schnelltrennern

Sicherungsschutz. Bild 8 zeigt die Wirkungsweise des Gleichrichterschutzes mit Schnelltrennern. Es ist daraus zu ersehen, daß bei Auftreten eines Überstromes bei der angedeuteten Phasenlage der Spannung U der Schnelltrenner S_2 sofort und nach Umkehr der Spannung auch der Schnelltrenner S_1 lastlos öffnen kann. Die in den gleichstromseitigen Induktivitäten gespeicherte Energie kann sich überspannungsfrei über die beiden, in Bild 8 unten liegenden, Brückenarme ausgleichen. Das Diagramm in Bild 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Überstromabschaltung.

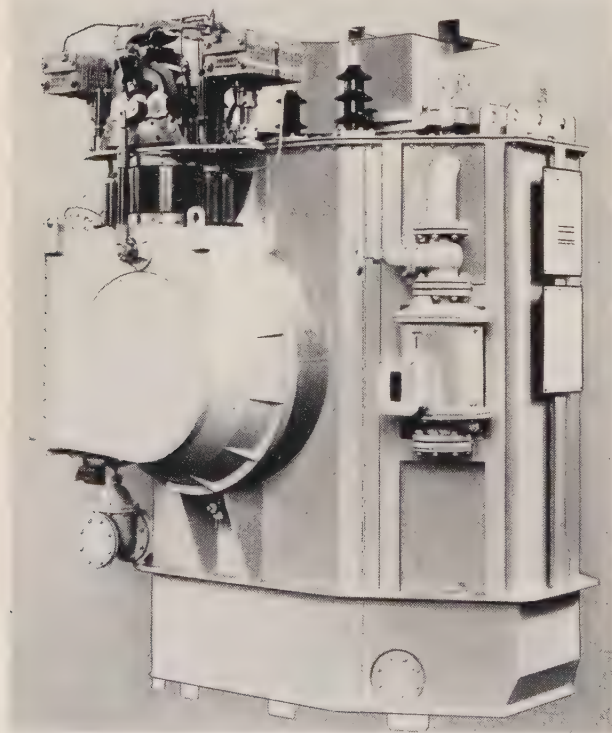


Bild 9 Lokomotiv-Haupttransformator 3300 kVA mit Siemens-Hochspannungsschaltwerk mit 39 Regelstufen für $16\frac{2}{3}$ und 50 Hz

Hohe Geschwindigkeiten stellen nicht nur erhöhte Anforderungen an die Fahrausrüstung, sondern in gleichem Maße auch an die Bremsausrüstung. Eine 80 t schwere Lokomotive benötigt zum Beispiel für sich allein zur Abbremsung von 160 km/h bis zum Stillstand bei den heute üblichen Signalabständen von 1000 m eine kurzzeitige Bremsleistung von über 2500 kW, die besonders bei noch höheren Geschwindigkeiten schon mit Rücksicht auf den hohen Verschleiß nicht mehr allein an den Radreifen und Bremsklötzen aufgebracht werden kann. Außer verbesserten Formen der Druckluftbremse kommen hier zusätzlich Magnetschienenbremsen und eine Verbesserung der elektrischen Bremse mit entsprechend höheren Bremsleistungen bei möglichst kleinem Raumbedarf in Betracht. Die elektrische Bremse soll nicht nur unabhängig vom Fahrdrabt sein, um diese Bremsleistung auch bei Ausfall der Fahrdrabtspannung zur Verfügung zu stellen, sondern sie soll auch aus mehreren getrennten Kreisen bestehen, damit bei Ausfall eines Fahr- oder Bremskreises eine, wenn auch verringerte, elektrische Bremskraft vorhanden ist.

Die Kosten für elektrische Triebfahrzeuge werden wesentlich mitbestimmt durch die Aufwendung für Wartungsarbeiten und Zwischenuntersuchungen.

Eine Aufgabe bei der Weiterentwicklung der Fahrzeuge ist es daher auch, diese Kosten durch Verbesserung der Geräte mit dem Ziel einer Verlängerung der Wartungsfristen zu senken. Neben der Verwendung von Sonder-schmierstoffen für die Dauerschmierung der Lager ist es das Bestreben, bei der Motorausrüstung die Laufleistung der Kommutatoren und bei den Schaltgeräten die Standdauer der Kontakte zu verbessern. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung des Siemens-Stufenschaltwerkes für die Steuerung der Fahrmotorspannung.

Bild 9 zeigt die Ausführung dieses Schaltwerkes für die hochspannungsseitige Steuerung in 39 Stufen. Die Besonderheit dieses Schaltwerkes liegt neben der Verwendung von verschleißarmen Rollenkontakten im kreisförmigen, ölgefüllten Stufenwähler in der Konstruktion des Lastschalters, der als Sprunglastschalter mit eigenem Federkraftspeicher ausgeführt ist und die unterbrechungslose Überschaltung von Stufe zu Stufe ermöglicht. Die natürliche Nullpunktlöschung ergibt bei diesem Schalter eine Schalthäufigkeit von mehr als 3 Millionen Lastschaltungen mit einem Kontaktsatz und damit Wartungsfreiheit für eine Laufleistung von etwa 500 000 km.

Besondere Möglichkeiten zur Herabsetzung der Wartungsarbeiten bieten die neuzeitlichen Halbleiterbauelemente, die als ruhende, verschleißfreie Bauteile die der Verschmutzung und Abnutzung unterworfenen Steuerungsschalter ersetzen können. Dieser Entwicklung kommt schon deshalb eine große Bedeutung zu, weil durch den verbesserten Bedienungskomfort und die verfeinerte

Schutz- und Überwachungstechnik bei elektrischen Triebfahrzeugen die Anzahl der notwendigen Kontaktstellen und damit der Störungsmöglichkeiten gestiegen ist. Mit den heute schon zur Verfügung stehenden kontaktlosen Schaltern mit magnetfeldabhängigen Widerständen und den Bausteinen des SIMATIC*-Systems [6, 7] können in Zukunft alle Steuerungs- und Verriegelungsaufgaben auf einem elektrischen Triebfahrzeug – soweit es sinnvoll ist – kontaktlos gelöst werden.

* Eingetragenes Warenzeichen

Schrifttum

- [1] Rambold, W.: Die Bedeutung des Siliziumgleichrichters für den Bau elektrischer Triebfahrzeuge. VDE-Fachber. **20** (1958) 122 bis 126
- [2] Rambold, W.: Die Lokomotive E 80 der Deutschen Bundesbahn mit Siliziumgleichrichter. Elektr. Bahnen **29** (1958) 9 bis 11
- [3] Ludwig, E.: Neue elektrische Triebfahrzeuge und der bei ihnen erzielte Fortschritt. Eisenbahntechn. Rdsch. **10** (1961) 297 bis 309
- [4] Marten, F.: Die Mehrsystemlokomotive E 320.21 der Deutschen Bundesbahn. Elektr. Bahnen **30** (1959) 62 bis 66, **32** (1961) 69 bis 76 und 110 bis 119
- [5] Seibert, K.W.: Neue Ausführungen bei Steuerungen von Wechselstromtriebwagen. Elektr. Bahnen **30** (1959) 241 bis 245
- [6] Zenneck, H. und Tschermak, M.: Das SIMATIC-System – eine Neuentwicklung für Steuerungen. Siemens-Zeitschrift **33** (1959) 593 bis 598
- [7] Houzer, E., Schauler, H. und Pritsching, I.: SIMATIC-Steuerung für Gleichstrom-Nahverkehrsfahrzeuge. Siemens-Zeitschrift **34** (1960) 701 bis 706

Arbeitsweise eines neuzeitlichen Ablaufstellwerkes

VON MARTIN LANG

Während Eisenbahnzüge für den Personenverkehr normalerweise immer aus denselben Wagen bestehen und ihre Zusammensetzung – von einzelnen Kurswagen abgesehen – sich über die ganze Fahrstrecke nicht ändert, werden im Güterverkehr die Züge täglich neu gebildet. Ihre Zusammensetzung richtet sich nach dem Anfall von beladenen und leeren Wagen, die von den Verlade- und Entladestellen kommen oder dorthin fahren sollen. Die einzelnen Güterzüge verkehren jeweils zwischen den Rangierbahnhöfen auf bestimmten im Güterfahrplan festgelegten Strecken. Der Weg eines Güterwagens führt dabei meistens über mehrere Rangierbahnhöfe, auf denen der Wagen von einem Zug zu einem anderen übergeht, bis er schließlich vom letzten Rangierbahnhof aus in einem Nahgüterzug oder in einer Übergabefahrt zum Empfänger gelangt.

Auf den Rangierbahnhöfen werden also ankommende Güterzüge aufgelöst und neue Züge für den Ausgang zusammengestellt. Hierzu bedient man sich der Ablaufanlagen, bei denen die Wagen über einen Ablaufberg geschoben werden, von dem aus sie selbständig durch die Schwerkraft in Richtungsgleise rollen, die den zu bildenden Ausgangszügen zugeordnet sind.

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es etwa 60 größere Ablaufanlagen, auf denen täglich insgesamt mehr als 150 000 Wagen umgestellt werden. Leistungsfähige Ablaufanlagen sind für den gesamten Güterverkehr auf der Schiene von außerordentlicher wirtschaftlicher Bedeutung. Die Entwicklung zeigt dabei die Tendenz, kleinere Anlagen so weit wie möglich stillzulegen und dafür die größeren so auszurüsten, daß sie ihre Aufgaben schnell, zuverlässig und weitgehend selbsttätig erfüllen können. Die neuzeitliche Eisenbahnsignaltechnik liefert hierzu einen entscheidenden Beitrag, indem sie es ermöglicht:

die Steuerung und die Überwachung des Betriebes an wenigen Punkten des Bahnhofes zu konzentrieren,

die Meldungen über den Betriebszustand automatisch zu geben, sichtbar zu machen und durch schreibende oder druckende Geräte – soweit erforderlich – festzuhalten,

die Verteilung der Wagen über die Weichen der Ablaufanlage automatisch zu steuern,

die Geschwindigkeit oder Bewegungsenergie der Wagen durch Gleisbremsanlagen an die wechselnden Fahrwiderstände und Laufwege der Wagen anzupassen.

In diesem Aufsatz wird hauptsächlich auf die beiden letzten Punkte eingegangen und über eine Technik berichtet, die Siemens & Halske in enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung und Förderung durch das Bundesbahnenzentralamt München der Deutschen Bundesbahn entwickelt hat.

Aufbau eines Rangierbahnhofes

Die Struktur des Rangierbahnhofes (Bild 1) entspricht den Aufgaben, die die Zugzerlegung und Zugbildung stellt. Ankommende Züge fahren in eine Einfahrgruppe, in der sie zur Auflösung vorbereitet werden. Dazu gehören die Überprüfung der Wagen auf Schäden mechanischer Art, auf heißgelaufene Achslager u. dgl. sowie das Ausfüllen eines Rangierzettels anhand der an den Wagen angebrachten Begleitzettel. Dieser Rangierzettel gibt die Richtungsgleise an, in die die Wagen ablaufen sollen, er enthält außerdem Angaben über die Beladung und über die Anzahl gemeinsam ablaufender Wagen. Sein Inhalt wird in vielen Fällen über Fernschreiber an die beteiligten Dienststellen, an das Ablaufstellwerk, die Betriebsüberwachung, den Rangierdienstleiter, übertragen [1].

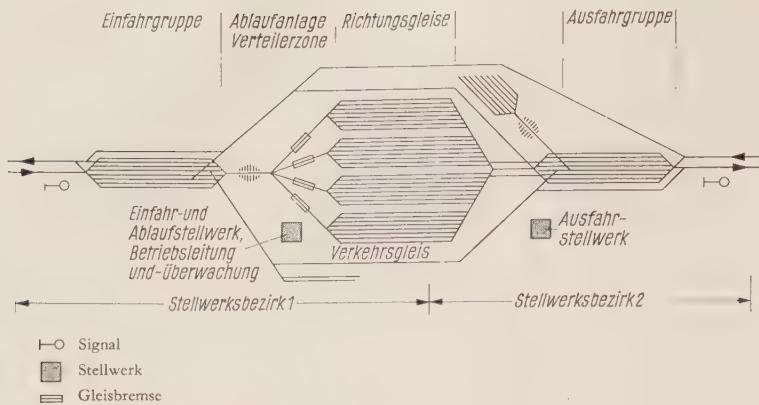


Bild 1 Aufbau eines Rangierbahnhofes

Nachdem die vorbereitenden Arbeiten erledigt sind, wird der Zug über den Ablaufberg geschoben, dabei werden die Wagen entkuppelt. Sie rollen dann über die Verteilerzone einzeln oder in Gruppen in die Gleise der Richtungsgruppe. Von dort werden die Wagen in die Ausfahrgruppe übernommen, aus der die Züge nach den vorgeschriebenen Überprüfungen auf die Strecke ausfahren können. Teilweise werden die Wagen auch noch über einen kleinen, an die Ausfahrgruppe angeschlossenen Ablaufberg in ihrer Reihenfolge umgestellt.

Bei neuen Anlagen arbeitet man heute nur noch mit zwei Stellwerken, die in den Schwerpunkten des Betriebes stehen [2]. Im Mittelpunkt der Verteilerzone, wo sich auch die Gleisbremsen befinden, steht das Ablaufstellwerk, am Ende der Richtungsgleise das Ausfahrstellwerk, von dem aus auch die Rangierarbeiten zum Bilden der ausfahrenden Züge durchgeführt werden. Bild 2 zeigt den Stelltisch für die Ablaufsteuerung im Ablaufstellwerk.

Betrieb der Ablaufanlage

Die Gleisanlage der Verteilerzone mit ihren Weichen soll so aufgebaut sein, daß der Weg vom Gipfel des Ablaufberges bis zu den Richtungsgleisen möglichst kurz ist. Hierüber sind mehrere Jahre lang eingehende Untersuchungen besonders vom Rangiertechnischen Ausschuß der Bundesbahn (bis 1945: Studiengesellschaft für Rangiertechnik der Reichsbahn) durchgeführt worden. Dabei hat sich eine Normalform mit 32 Richtungsgleisen herausgebildet, die man deshalb auch am häufigsten vorfindet.

Bild 3 zeigt eine Anlage mit 32 Richtungsgleisen; für die Verzweigung von einem Abdrückgleis auf 32 Richtungsgleise sind 31 Weichen erforderlich. Diese werden – um die Zone, in der die Wagen über die Weichen verteilt werden, möglichst kurz zu halten – so in fünf Staffeln angeordnet, daß sich die Anzahl der Weichen von Staffel zu Staffel verdoppelt. Hinter den beiden Weichen der zweiten Staffel befinden sich vier Gleisbremsen zur Regelung der Wagengeschwindigkeit. Jeder Wagen läuft nacheinander über je eine Weiche der fünf Weichenstaffeln. In einer der Weichen wird sein Laufweg von dem des vorherlaufenden Wagens getrennt. Im Mittel sinkt die Anzahl der Ablauftrennungen von Weichenstaffel zu Weichenstaffel auf die Hälfte, d. h., auf die erste Weichenstaffel entfallen etwa 52%, auf die zweite 26%, auf die dritte 13%, auf die vierte 6% und auf die letzte 3% der Trennungen [3].

Da nach der Trennung zweier aufeinanderfolgender Wagen möglicherweise noch weitere Weichen des Fahr-



Bild 2 Stelltisch für die Ablaufsteuerung

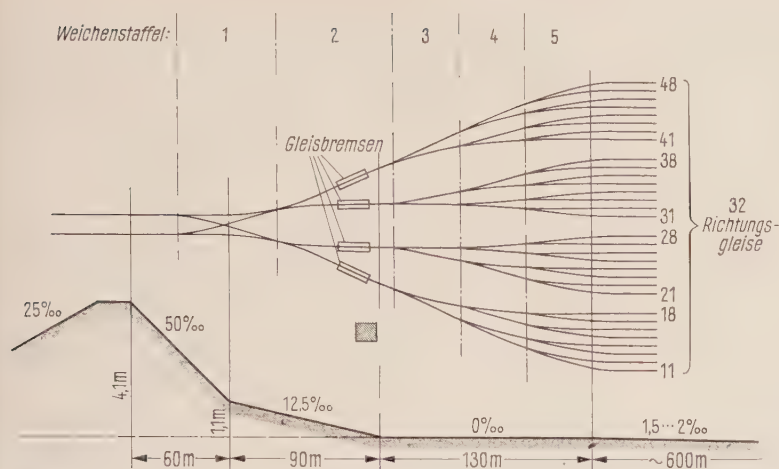


Bild 3 Ablaufstellwerk

Bild 3 Gleis- und Profilplan einer Ablaufanlage

weges zu stellen sind, weil der weitere Laufweg von einem früher eingestellten abweicht, muß man im Mittel mit zwei bis drei Weichenumstellungen für jeden ablaufenden Wagen rechnen, bei einem Minimum von einer und einem Maximum von fünf Umstellungen. Diese sind gleichmäßig auf sämtliche Staffeln verteilt.

Kennzeichnend für die Weichenumstellung zur Trennung der Wagen ist, daß sie stets in kurzer Zeit zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Wagen oder Wagengruppen geschehen muß. Sie ist für jeden Ablauf einmal notwendig. Bei den folgenden weiteren Weichenumstellungen, die zum Herstellen des Fahrweges nötig sind, ist dagegen der zeitliche Abstand zu einem vorher laufenden Wagen immer größer als bei der Wagentrennung. Selbstverständlich besteht nicht für jeden Ablauf eine zwingende Notwendigkeit solcher weiteren Weichenumstellungen.

Jeder Weiche ist eine Wirkzone im Gleis zugeordnet, innerhalb deren sie mit Gleisstrom- oder Achszählkreisen gegen eine Umstellung gesperrt wird, solange die beweglichen Zungenschienen der Weiche noch besetzt sind. Die Länge der Wirkzone beträgt mit Rücksicht auf den größtmöglichen Achsenabstand eines Güterwagens 14 m. Dieser Abstand muß zwischen der letzten Achse des Vorläufers und der ersten Achse des Nachläufers eingehalten werden, wenn eine Trennung der Abläufe noch möglich sein soll.

Aus dieser Bedingung folgt, daß die Geschwindigkeiten beim Abdrücken der Wagen über den Berg und im Bereich der Wirkzonen in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen müssen, da mit der Abdrückgeschwindigkeit der zeitliche Abstand zwischen zwei Wagen mindestens am Ablaufpunkt, d. h. am Beginn des freien Laufes, gegeben ist. Auf dem weiteren Laufweg kann der zeitliche Abstand durch die wechselnden Fahrwider-

stände ungünstig beeinflusst werden. Die Gleisbremsen geben eine Möglichkeit zur Korrektur des Abstandes. Für die Bemessung der Höhe des Ablaufberges ist maßgebend, daß die Wagen im Bereich der Verteilerzone eine ausreichende Geschwindigkeit haben; für die Gestaltung des Gefälleprofils ist es wichtig, daß die Wagen durch eine Steilrampe möglichst schnell auseinandergezogen werden und größere Abstände voneinander gewinnen.

Bei einer Abdrückgeschwindigkeit von 1,5 m/s, wie sie in Hochleistungsanlagen während der Verkehrsspitzen üblich ist, erhält man je nach Wagenlänge einen zeitlichen Abstand von 6 bis 7 s. Die Geschwindigkeit im Einlauf der Gleisbremsen beträgt zwischen 7 und 8 m/s.

Die kinetische Energie eines ungebremsten, schlecht laufenden Wagens reicht dann gerade aus, daß er bis in das Richtungsgleis gelangen kann. Demgegenüber müssen gut laufende Wagen stark abgebremst werden, um am Beginn des Richtungsgleises eine Geschwindigkeit von 2 bis 4 m/s zu haben. Sie kommen dann bis an das Ende des Richtungsgleises, da dieses in einem Gefälle von 1,5 bis 2‰ liegt.

Im allgemeinen beträgt die Auslaufgeschwindigkeit aus der Gleisbremse zwischen 4 und 5 m/s. Es ist dann bei den meisten Wagen notwendig, daß sie kurz vor dem Ziel im Richtungsgleis durch Hemmschuhe gebremst werden und mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,0 m/s auf die dort schon stehenden Wagen auflaufen. Schlecht rollende Wagen kommen oft nicht weit genug, so daß Lücken entstehen. Andere Wagen werden mit dem Hemmschuh nicht richtig gefaßt und prallen mit zu hohem Stoß auf die stehenden Wagen. Es wird deshalb daran gearbeitet, die Geschwindigkeitsbeeinflussung der Wagen selbsttätig zu gestalten, damit die Wagen kupplungsreif und ohne Rangierschäden durch zu starke Auflaufstöße die Richtungsgleise füllen und damit auf die gefährliche Arbeit der Hemmschuhleger verzichtet werden kann.

Steuerung der Ablaufanlagen

Im Bedienungsraum eines neuzeitlichen Ablaufstellwerkes werden die gesamten Betriebsvorgänge von der Einfahrt der Züge in die Einfahrgruppe bis zur Füllung der Richtungsgleise erfaßt und gelenkt. Die Steuerungsaufgaben verteilen sich auf das Einfahrstellwerk, auf das eigentliche Ablaufstellwerk mit dem Speicher, der selbsttätigen Weichensteuerung und der Wirkzonenschaltung sowie auf die Gleisbremsen.

Außerdem werden die üblichen Meldungen über Signale und Gleisanlagen gegeben, die Züge angekündigt und

der Betriebsablauf angezeigt, wie er zur Füllung der Richtungsgleise führt.

Einfahrstellwerk

Der Bereich des Einfahrstellwerkes erstreckt sich von den Streckengleisen, über die die Züge ankommen, bis zum Ablaufpunkt. Die Anlage ist nach der üblichen Stellwerktechnik gebaut. Zum Aufgabenbereich dieses Stellwerkes gehört es, die Züge in die Einfahrgruppe hereinzunehmen, die Lokomotiven zur Lokbehandlungsanlage oder zur Ausfahrseite weiterzuleiten und die Rangierlokomotive hinter den aufzulösenden Zug zu setzen.

Oft wird der Stellbezirk auf die Gleisanlagen ausgedehnt, die zu den Güterhallen, Reparaturwerkstätten usw. führen.

Auf dem Stelltisch und auf besonderen Meldetafeln der beteiligten Stellen werden Meldungen über die Ankunft der Züge, die Bereitschaft der Züge zum Ablauf sowie dessen Beginn und Ende angezeigt. Mit Hilfe dieser Anzeigen können der Rangierdienstleiter und die Beamten der Betriebsüberwachungsstellen disponieren. Außerdem ist es möglich, während des Ablaufbetriebes die Achsen der Wagen zu zählen, die in die einzelnen Richtungsgleise rollen. In Leuchtzahlfeldern können die Achszahlen angezeigt werden; sie geben ein Bild über den Füllzustand der einzelnen Gleise.

Speichern der Ablaufaufträge für die Wagenverteilung

Über die Verteilung der Wagen in die Richtungsgleise gibt der Rangierzettel Aufschluß, dessen Angaben durch Fernschreiber im Ablaufstellwerk empfangen werden.

Da es bei der Weichenumstellung zur Wagentrennung entscheidend darauf ankommt, den richtigen Zeitpunkt abzapfen, in dem die Weiche von einem Wagen geräumt und vom nächsten noch nicht besetzt ist, überträgt man diese Aufgabe nicht dem Betriebspersonal, sondern läßt sie durch die Wagen beim Befahren der Wirkzonen selbst lösen.

Die erste Weiche erhält z. B. einen Auftrag, der besagt, in welche Lage sie gestellt werden soll, und der außerdem Informationen darüber enthält, wie die Weichen der folgenden Staffel zu stellen sind. Diese folgenden Weichen erhalten ihre Stellaufträge zu einem späteren Zeitpunkt mit dem Vorrücken des Wagens, wobei gewährleistet wird, daß andere Wagen, die schon unterwegs sind, ebenfalls im richtigen Augenblick nach ihrem Auftrag ihre Weichen umstellen können. Bei jeder Weiche befindet sich zu diesem Zweck ein Auftragspeicher, der den Stellbefehl für diese Weiche und den Speicherauftrag für die noch im Ablaufweg folgenden Weichen enthält. Diesem Auftragspeicher müssen im richtigen Zeitpunkt Informationen eingegeben und entnommen werden. Die Befehle hierzu sind von dem Befahren der Wirkzone abhängig. Die Art der Kodierung der Informationen bietet

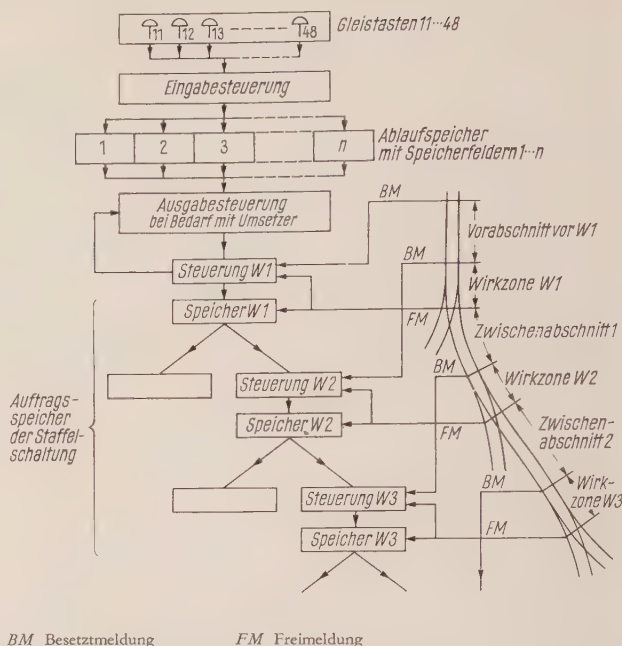


Bild 4 Schaltungssystem des Ablaufstellwerkes

sich aus dem System der Weichenentwicklung an, das bei einer symmetrischen Anlage mit 32 Gleisen einem fünfstelligen Binärkode mit einer vom Berggipfel zu den Richtungsgleisen hin abnehmenden Wertigkeit der Weichenstaffeln entspricht [4, 5].

Vorausgesetzt, es gäbe bereits ein Verfahren zum selbsttätigen Fortschalten der Ablaufaufträge von Weiche zu Weiche, so bliebe dem Stellwerkwärter noch die Aufgabe, der ersten Weiche die Informationen, die aus dem Rangierzettel hervorgehen, im richtigen Augenblick zuzuleiten. Um auch diesen Vorgang selbsttätig abzuwickeln, wird ein Speicher vorgesehen, in den die Angaben des Rangierzettels vor dem Ablauf der Wagen übertragen werden. Von dort werden die Informationen über den Fahrweg und die Weichenumstellungen von den ablaufenden Wagen abgerufen, bevor diese die erste Weiche befahren, und dann von Weiche zu Weiche beim Befahren der Wirkzone weitergegeben (Bild 4).

Der Ablaufspeicher reicht für 40 bis 50 Abläufe aus. Dieser Umfang entspricht der Anzahl der Abläufe eines Zuges, der zwar oft aus mehr Wagen besteht, von denen aber immer eine Anzahl, als Wagengruppen gekuppelt, gemeinsam in dasselbe Gleis rollen. Die Gleiszahlen werden in den Speicherfeldern, die sich im Unterteil des Stelltisches befinden (s. Bild 2), in der Reihenfolge angezeigt, in der sie eingegeben werden.

Für die Kodierung der Informationen im Ablaufspeicher wird derselbe Kode wie bei den Auftragspeichern der Weichen verwendet. Man erhält so einen einfachen und übersichtlichen Schaltungsaufbau. Für 32 Gleise genügen fünf Relais zum Speichern der Gleisnummern. Es liegt

in der Eigenart des Ablaufspeichers, daß in jedem Speicherfeld jede der möglichen Nummern der Gleise erscheinen kann. Demgegenüber sind die möglichen Informationen der Auftragspeicher beschränkt und genau vorgegeben. Der Umfang der Auftragspeicher wird von Weichenstaffel zu Weichenstaffel kleiner.

In manchen Fällen sind die Richtungsgleise so numeriert, daß es nicht zweckmäßig ist, den Kode, der den Weichenstellaufrägen entspricht, auch für den Ablaufspeicher mit seinen auszuleuchtenden Speicheranzeigefeldern zu verwenden. Dann wird die Information des Ablaufspeichers über einen Umsetzer zum Auftragspeicher der ersten Weiche gegeben [6].

Beim Empfang der Angaben des Rangierzettels durch Fernschreiber läßt sich gleichzeitig ein Lochstreifen herstellen, den man unmittelbar zur Eingabe des Inhalts des Rangierzettels in den Ablaufspeicher verwenden kann. Der Umfang des Ablaufspeichers läßt sich dabei vermindern, wenn auf die Anzeige in den Speicherfeldern und auf eine Eingabe in den Speicher durch Drücken von Tasten verzichtet werden kann. Hier sind verschiedene Kombinationen denkbar und zweckmäßig, die sich nach den örtlichen Verhältnissen richten müssen.

Schaltung der Wirkzone

Die Wagen wirken über Gleisrelais oder Achszählkreise auf die Steuereinrichtungen der Weichen zur Weichenstellung von Aufträgen ein. Die Gleisabschnitte, die für diese Aufgabe herangezogen werden, bilden die Wirkzonen, von denen jede eine Länge von 14 m hat.

In den meisten Anlagen wurden bisher Gleisrelais verwendet. Man fügt hierbei etwa 6 m vor den Zungenspitzen der Weichen einen ersten Isolierstoß in das Gleis ein, einen zweiten unmittelbar vor den Zungenspitzen, weitere am Ende der Zungen und erhält auf diese Weise zwei aneinanderstoßende, isolierte Abschnitte. Jeder dieser Abschnitte hat ein eigenes Gleisrelais, so daß auf diese Weise geprüft werden kann, ob sich zwei Achsen im Bereich der Wirkzone befinden. Die Aufträge in den Speichern der Staffelschaltung werden nur dann gelöscht, wenn zwei Achsen an der Besetzung der Wirkzone beteiligt sind. Dadurch arbeitet die Schaltung mit einer sehr großen Zuverlässigkeit. Die Gleisrelais selbst werden mit Arbeitsstrom betrieben, weil nur so die beim Ablaufstellwerk geforderten kurzen Schaltzeiten sicher eingehalten werden können. Aus demselben Grund werden schnelllaufende Weichenantriebe mit einer Umstellzeit von 0,6 bis 0,8 s verwendet.

In der Ablaufanlage Offenburg der Deutschen Bundesbahn sind statt der Gleisrelais erstmals elektronische Achszählkreise für die Wirkzone eingebaut worden.

Die Achszählung bietet besonders im Ablaufbetrieb einige wichtige Vorteile, da man keine Isolierstöße braucht und die Schienen in der Verteilerzone durchgehend geschweißt werden können. Die Kosten für Einbau und Unterhaltung der Isolierstöße fallen weg; außerdem wird die gesamte Gleisanlage mit ihren gedrängt angeordneten Weichen durch die stabilere Lage weniger beansprucht, so daß auch hier wesentliche Unterhaltungskosten eingespart werden. Der Wagenlauf

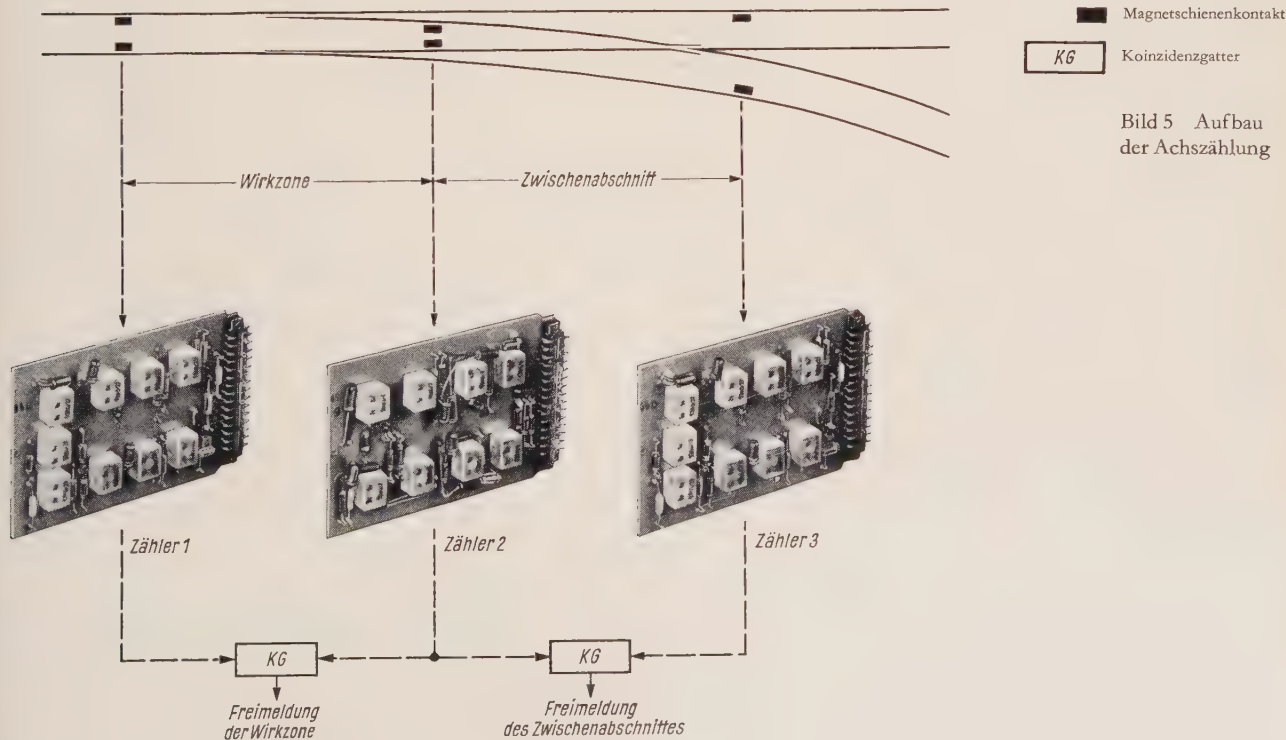


Bild 5 Aufbau der Achszählung



Bild 6 Teilansicht der Ablaufanlage in Hamburg (Hohe Schaar) mit drei Gleisbremsen

selbst wird ruhiger, ein Gesichtspunkt, der besonders für die vollautomatische Gleisbremsensteuerung nützlich ist.

Für die Wirkzonen ist es von entscheidender Bedeutung, daß die Achszählung zuverlässig arbeitet und dabei im Aufwand wirtschaftlich bleibt. Während sonst bei Achszählkreisen an jedem Zählpunkt zwei Kontakte gegeneinander versetzt in einem Schwellenfeld an beiden Schienen eines Gleises angebaut werden müssen, damit man aus der Reihenfolge, in der die Kontakte arbeiten, auf die Fahrtrichtung schließen kann, ist eine Richtungsempfindlichkeit hier nicht nötig. Denn im Ablaufbetrieb laufen die Wagen immer in derselben Richtung über die Wirkzonen hinweg in ihr Richtungsgleis.

Die Zähschaltung ohne Richtungsempfindlichkeit wurde in elektronischer Technik mit Magnetkernen und Transfluxoren als Schalt- und Zählelemente ausgeführt (Bild 5). Jedem Zählpunkt ist ein Zähler zugeordnet, der als steckbare Platten-Baugruppe ausgeführt ist. Zähler 1 und Zähler 2 bilden den Achszählkreis für die Wirkzone, Zähler 2 und 3 den für den anschließenden Zwischenabschnitt usw. Der zweite Zähler wird bei dieser Anordnung also für beide Achszählkreise ausgenutzt.

Es wird dauernd geprüft, ob die Stellung der beiden Zähler eines Achszählkreises übereinstimmt oder nicht. Bei Übereinstimmung wird der Kreis freigemeldet.

Die Besetzung der Gleisabschnitte wird auf dem Stellisch durch Rotlicht an der betreffenden Stelle des Gleisbildes angezeigt. Dadurch können sowohl die ablaufenden Wagen und Wagengruppen als auch die Rangierbewegungen überwacht werden.

Bei der Anlage Offenburg, die im Auftrag der Hauptverwaltung der Deutschen Bundesbahn in engem Kontakt mit dem Bundesbahnzentralamt München entwickelt

wurde, hat man aus Sicherheitsgründen am Beginn jeder Wirkzone zwei Kontakte parallel im Gleis eingebaut. Diese Kontakte werden durch eine besondere Schaltanordnung überwacht.

Da der Ablaufbetrieb zeitweise unterbrochen werden muß, um Rangierbewegungen durchzuführen, z. B. um nicht weit genug gerollte Wagen weiterzuschieben oder zum Nachordnen, wurden außerdem vier richtungsempfindliche Achszählkreise in Magnetkern-technik eingerichtet, die jeweils eine Gruppe von Gleisen zusammenfassen. Wenn ein Zählkreis bei Rangierbewegungen ohne Richtungsempfindlichkeit nur angefahren und nicht durchfahren wird, dann bleibt er besetzt;

er wird aber anschließend wieder in Freimeldestellung gebracht, wenn der Bereich des übergeordneten, richtungsempfindlichen Zählkreises geräumt wird.

Gleisbremsenanlage

Bei Ablaufanlagen mit hoher Leistung werden nach dem Steilgefälle Balkengleisbremsen eingebaut, mit denen sich die Wagen in ihrer Geschwindigkeit so beeinflussen lassen, daß sie an den folgenden Weichen sicher getrennt werden können und daß sie im Richtungsgleis je nach Laufweite ausreichende, aber nicht zu hohe Geschwindigkeit haben. Es wird also auf Abstand und auf Ziel gebremst.

Die heute überwiegend verwendeten Gleisbremsen der Thyssen-Industrie GmbH (Bild 6) werden durch Ölhydraulik betätigt. Die Bremswirkung entsteht dadurch, daß die Bremsbacken über Federn gegen die Räder der Fahrzeuge gedrückt werden [8].

Die Bremskraft der Gleisbremsen wird mit Hilfe von Magnetschiebern und hydraulischen Arbeitszylindern eingestellt. Die Steuerungsanlage regelt die Bremskraft so, daß diese an das Gewicht der durch die Bremsen rollenden Wagen angepaßt wird [9].

Bild 7 zeigt einen Schaltschrank für die elektronische Steuerung von zwei Gleisbremsen, wie er z. B. für die Anlage in Soest geliefert wurde. Man sieht oben die Klemmenanschlüsse, dann die Stromversorgungseinheit, die Verstärkereinheit der Gewichtmeßeinrichtung und darunter ein Prüf- und Einstellfeld, mit dem die Anlage überwacht und die Funktion nachgebildet werden kann. Der Gewichtmeßwert wird in sieben Stufen zum Einstellen der Bremskraft verarbeitet. Diese und einige zusätzliche Aufgaben erfüllt der Gewichtsspeicher (Bild 8). Darunter befinden sich die Einheiten zur Bremskraftregelung und Betätigung der Magnetschieber sowie zur

Achszählung. Der Relaisatz übernimmt allgemeine Einschaltaufgaben. Die Anlage arbeitet so, daß beim Befahren des Gewichtgebers das Gewicht jeder Achse in den Gewichtsspeicher gegeben wird. Davon abhängig wird die Gleisbremse selbsttätig in eine zugeordnete Bremsstellung gebracht. Der Stellwerkwärter beobachtet den Bremsvorgang. Nachdem der Wagen ausreichend abgebremst wurde, betätigt der Wärter eine Lösetaste, worauf die Bremse innerhalb kürzester Frist in die Lösestellung fährt. Sobald der Wagen die Bremse verlassen hat, wird diese durch die Achszählung freigemeldet und selbsttätig aus der Lösestellung wieder in die Bremsstellung gebracht.

Ausblick

Bisher wurde schon eine große Anzahl von Ablaufstellwerken und Gleisbremsenanlagen bei den Bahnen des In- und Auslandes in Betrieb genommen; weitere befinden sich im Bau.

Die beschriebenen technischen Einrichtungen ermöglichen es, die Zugbildung auf den Rangierbahnhöfen weitgehend zu zentralisieren und zu automatisieren. Für die Zugzerlegung ist es von entscheidender Bedeutung, daß die selbsttätige Weichensteuerung mit einer gut aus-

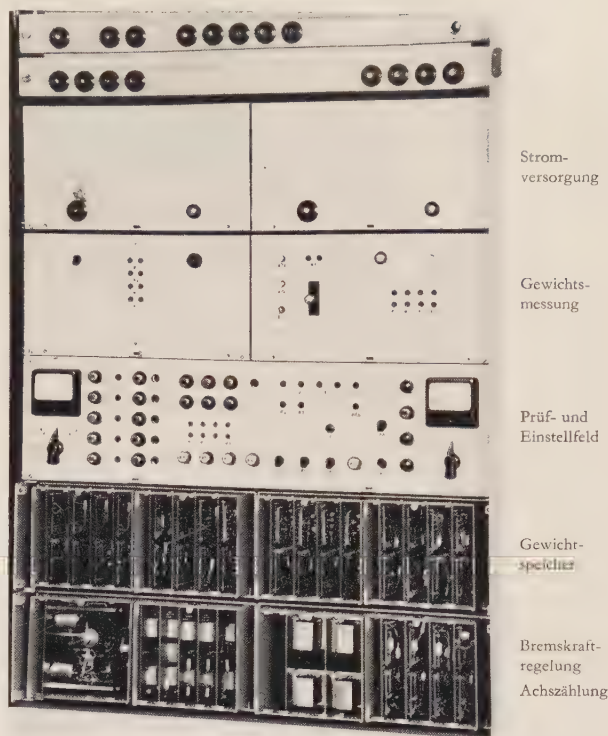


Bild 8 Ausschnitt aus dem Schaltschrank mit dem Prüf- und Einstellfeld und den Plattenbaugruppen der Magnetkerntechnik

gebildeten Gleisbremsensteuerung zusammenarbeitet. Dabei hat es sich gezeigt, daß die Magnetkerntechnik sowohl für die Schaltung der Achszählung als auch für die Gleisbremsensteuerung wesentliche Vorteile gegenüber einer Technik unter ausschließlicher Verwendung von Halbleitern bietet.

Die weitere Entwicklung für Ablaufstellwerke besonders auf dem Gebiet der Gleisbremsensteuerung und Geschwindigkeitsregelung hat zum Ziel, die Wagen kuppungsreif und ohne gefährliche Auflaufstöße, die zu Rangierschäden führen, aber auch ohne das Eingreifen von Hemmschuhlegern in den Richtungsgleisen aneinanderzureihen.

Schrifttum

- [1] Leitenberger, W.: Rationalisierung der Rangierzettelverteilung. Rangiertechn. 15 (1955) 74 bis 75 (Sonderausgabe 6 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [2] Kümmel, K. F.: Stellwerke in Rangierbahnhöfen. Rangiertechn. 19 (1959) 78 bis 100 (Sonderausgabe 11 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [3] Ammann, O. und Raab, F.: Inanspruchnahme der Weichen in der Verteilerzone einer Ordnungsgruppe. Verkehrstechn. Woche 25 (1931, 4. Sonderheft Rangiertechn.) 19 bis 25
- [4] Dierichsweiler, W.: Aufbau und Schaltung des Ablaufstellwerkes. Signal u. Draht 46 (1954) 159 bis 163
- [5] Ahlgrimm, H. und Lang, M.: Die Ablaufstellwerksanlage Brs des Rangierbahnhofs Gremberg. Rangiertechn. 16 (1956) 41 bis 49 (Sonderausgabe 7 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [6] Sieverling, H.: Eine neue Ablaufanlage im Rangierbahnhof Duisburg-Wedau. Rangiertechn. 20 (1960) 49 bis 54 (Sonderausgabe 12 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [7] Kümmel, K. F.: Die Schaltmittel am Gleis und ihre Anwendung in der Wirkzone der Ablaufweichen. Rangiertechn. 18 (1958) 36 bis 42 (Sonderausgabe 10 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [8] Born, E.: Die Balkengleisbremsen Bauart W. Rangiertechn. (1960) 24 bis 29 (Sonderausgabe 12 der Eisenbahntechn. Rdsch.)
- [9] Delpy, A.: Bedeutung und Aufgaben der elektronischen Gleisbremsensteuerung. Signal u. Draht 52 (1960) 41 bis 48

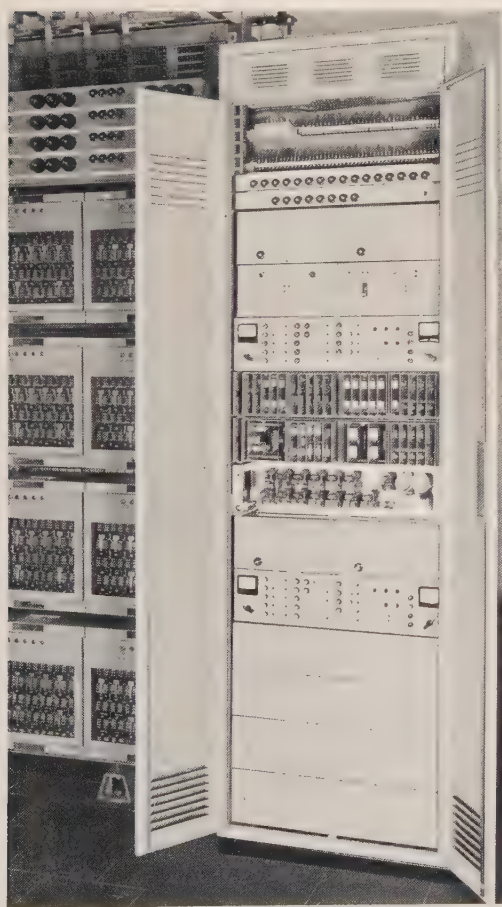


Bild 7 Schaltschrank der Gleisbremsensteuerung

Neue elektrische Weichensteuerung für Straßenbahnen

VON INGO PRITSCHING UND KARL WALTER

Die besonderen Vorzüge und Möglichkeiten der elektrischen Weichensteuerung für Straßenbahnen werden schon seit der Jahrhundertwende mit Hilfe entsprechender Einrichtungen genutzt. Im Lauf der Jahrzehnte hat die Entwicklung zu Standardlösungen geführt, die den gestellten Forderungen weitgehend genügten, so daß der lästige Weichenhaken immer mehr verschwinden konnte.

Indessen haben die höheren Geschwindigkeiten und die zunehmende Dichte im Straßenverkehr nach 1945 auch hier neue Probleme und Aufgaben gebracht, so daß nach neuen Lösungen gesucht werden mußte. Es wird daher – nach einem Überblick über den Stand der bisherigen Technik – eine neue Steuerung beschrieben, die mit Hilfe von Halbleiter-Bauteilen und Steuerströmen höherer Frequenz eine Fernbetätigung von Straßenbahnweichen auch unter schwierigen Betriebsbedingungen vom Triebwagen aus ermöglicht.

Bisherige Weichenstelleneinrichtung (Stromsteuerung)

Die bisherige Weichenstelleneinrichtung arbeitet im Steuer- teil wie auch im Antriebsteil mit Fahrdrachtspannung, die bis zu 750 V (Gleichspannung) betragen kann. Bild 1 zeigt die grundsätzliche Anordnung dieser Einrichtung, die sich in Verbundkontakt, Steuergerät und Weichenantrieb gliedern läßt.

Verbundkontakt

Der Verbundkontakt besteht aus Kufe und Schleifdraht; beide Teile sind sowohl gegeneinander als auch gegen den Fahrdracht isoliert und etwa eine Wagenlänge vor der Weiche an der Fahrleitung aufgehängt.

Die Kufe hängt so tief, daß sie den Stromabnehmer des Triebwagens beim Befahren von der Fahrleitung abhebt. Sie steht jedoch über eine leitende Verbindung, in die die Spule eines zur Steuerung gehörenden Stromrelais eingefügt ist, dauernd unter Fahrdrachtpotential.

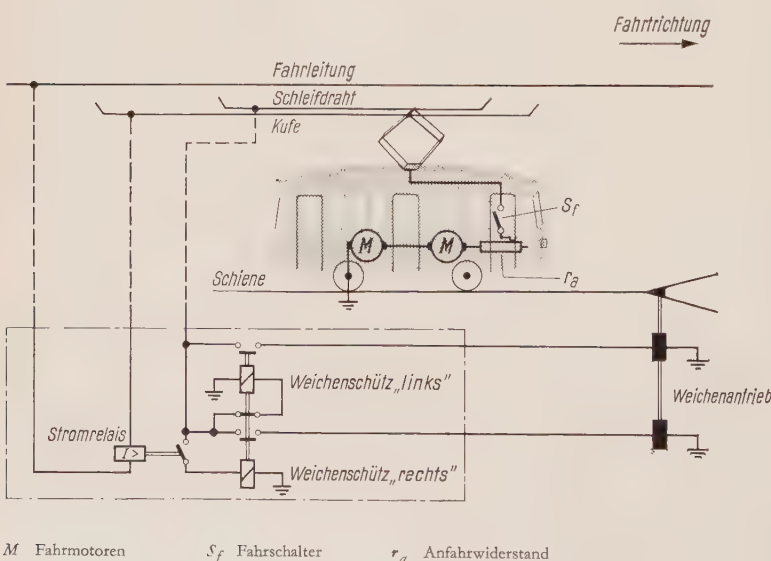
Der Schleifdraht liegt auf dem Niveau der Kufe und erhält deren Potential beim Bestreichen durch den Stromabnehmer. Am Schleifdraht ist die Speiseleitung für die Steuerung und den Weichenantrieb angeschlossen.

Steuerung

Die Steuerung mit ihren verschiedenen Geräten (Bild 2) ist in einer zweiteiligen Gußgehäusekombination zusammengefaßt, die an einem Fahrleitungsmast oder an einem in der Nähe befindlichen Gebäude angebaut werden kann.

Der eine Gehäuseteil ist zur Aufnahme der Sicherungen (1) und des Umschalters (2) bestimmt und kann notfalls vom Fahrpersonal zum Erneuern einer Sicherung oder zum Betätigen des Umschalters bei Störungen geöffnet werden. Beim Umschalten wird die Steuerung der Weiche ausgeschaltet und die Kufe des Verbundkontaktes mit der Fahrleitung verbunden.

Der zweite Gehäuseteil enthält alle Relais und Schütze und soll – durch Wahl geeigneter Verschlüsse – möglichst nur dem Werkstättenpersonal zugänglich sein. Das Stromrelais (3) ist mit einer Spule für den Durchgang hoher Ströme und mit einer in Ampere geeichten Skale ausgestattet, mit der der Ansprechstrom – unter Berücksichtigung des Verbrauchs der Fahrzeug-Hilfsstromkreise – eingestellt wird. Die Weichenschütze (4) und (5) sowie das gegen Verschalten durch nachfolgende Stromabnehmer wahlweise vorzusehende Verriegelungsschütz (6) sind elektromagnetische Luftschütze mit permanentmagnetischer Lichtbogenlöschung, die auch bei kleinen Strömen wirksam bleibt.



M Fahrmotoren S_f Fahrschalter r_a Anfahrwiderstand

Bild 1 Grundsätzliche Anordnung der Weichenstelleneinrichtung mit Fahrstromsteuerung

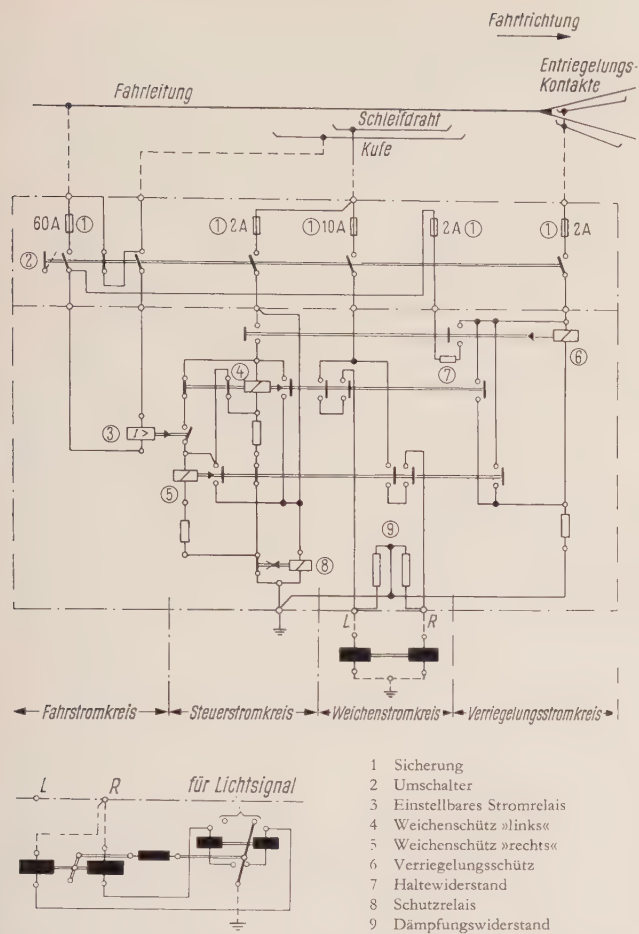


Bild 2 Schaltung der Stromsteuerung und des Weichenantriebes
Oben: Anschluß für die Fahrvorschrift I
(Weiche »rechts« – mit Strom; Weiche »links« – ohne Strom)
Unten: Anschluß für die Fahrvorschrift II
(Weiche richtig – ohne Strom; Weiche falsch – mit Strom)

Das Schutzrelais (8) soll die Magnetspulen des Weichenantriebes gegen Überlastung schützen. Durch Verwendung einer Quecksilber-Schaltröhre mit einer Öffnungsverzögerung von 4 s ist gegenüber älteren Ausführungen mit Bimetallrelais oder Zeitschaltwerk mit mechanischem Hemmwerk der Vorteil des unverzögerten Wiederansprechens und verschleißfreien Arbeitens gegeben.

Weichenantrieb

Der Weichenantrieb besteht aus dem Doppelkernzugmagneten und dem Antriebsgehäuse (Hauptkasten und Vorsetzkasten) mit Gestänge und Befestigungsankern. Der Hauptkasten enthält den Magnet, der Vorsetzkasten die Gestängekupplung, um den Antrieb bei Schadensfällen leicht abtrennen zu können. Beide Kästen sind oben mit Deckeln dicht verschraubt, nach unten jedoch mit je einem Wasserablauf versehen.

In allen neueren Anlagen werden Federzungenweichen verwendet. Der hierfür erforderlichen Zugkraft entsprechend, sind die Magnete für eine Nennzugkraft von 275 kp und mit abfallender Charakteristik ausgelegt.

Wirkungsweise

Zur Verwirklichung der Steuerbegriffe »Rechts« und »Links« haben sich im praktischen Betrieb zwei Fahrvorschriften herausgebildet:

Fahrvorschrift I: Weiche nach rechts stellen – mit Strom fahren
Weiche nach links stellen – ohne Strom fahren

Fahrvorschrift II: Weiche steht falsch – mit Strom fahren
Weiche steht richtig – ohne Strom fahren

Die Fahrvorschrift II erfordert eine Überprüfung der Weichenlage durch den Fahrer, der dadurch von der Beobachtung des Verkehrs abgelenkt werden kann; außerdem ist eine Anzeige der Weichenlage und damit ein Mehraufwand an Geräten notwendig. Bei der Fahrvorschrift I wird für den Rechtsabzweig immer mit Strom, für den Linksabzweig immer ohne Strom gefahren, gleichgültig, wie die Weiche liegt. Die Fahrvorschrift I hat sich aufgrund dieser einfachen Steuerregel immer mehr durchgesetzt. Die Wirkungsweise der Steuerung wird deshalb hier entsprechend der Fahrvorschrift I erläutert (Bilder 1 und 2, oben). Das gleiche Steuergerät ist mit geringen Änderungen der Anschlüsse aber auch für die Fahrvorschrift II geeignet (Bild 2, unten).

Beim Betätigen des Fahrschalters im Sinne »Fahren« auf der Höhe des Verbundkontaktes kommt folgender Stromkreis zustande: Fahrleitung – Stromrelaisspule – Kufe des Verbundkontaktes – Stromabnehmer – Fahrschalter – Anfahrwiderstand – Fahrmotoren – Erde. Das Stromrelais (3) schließt, sobald der Spulenstrom den eingestellten Skalenwert überschreitet, und es werden nacheinander das Weichenschütz für »rechts« (5) und der zugehörige Weichenmagnet an Spannung gelegt: Die Weiche wird nach rechts umgestellt. Liegt die Weiche bereits rechts, so bewirkt die Erregung des Weichenmagneten keine Weichenstellung.

Falls der Fahrschalter in Null-Stellung steht, der Fahrstromkreis also offen bleibt, kann kein Fahrstrom fließen. Das Stromrelais spricht also nicht an, sondern legt über seine Spule lediglich Fahrleitungspotential an die Kufe des Verbundkontaktes. Durch den Stromabnehmer wird das Potential von der Kufe auf den Schleifdraht übertragen und nacheinander das Weichenschütz für »links« (4) und der zugehörige Weichenmagnet erregt: Die Weiche wird nach links umgestellt, falls sie nicht schon dort liegt.

Bleibt der Stromabnehmer länger als 4 s unter dem Schleifdraht, so spricht das Schutzrelais (8) an und unterbricht den Steuerstromkreis der Weichenschütze (4) und (5), die ihrerseits den Weichenantrieb abschalten und damit gegen thermische Überlastung schützen. Sobald der Stromabnehmer den Schleifdraht verläßt, wird das Schutzrelais (8) entregt, fällt ab und ist nun wieder einschaltsbereit für den nächsten Triebwagen.

772

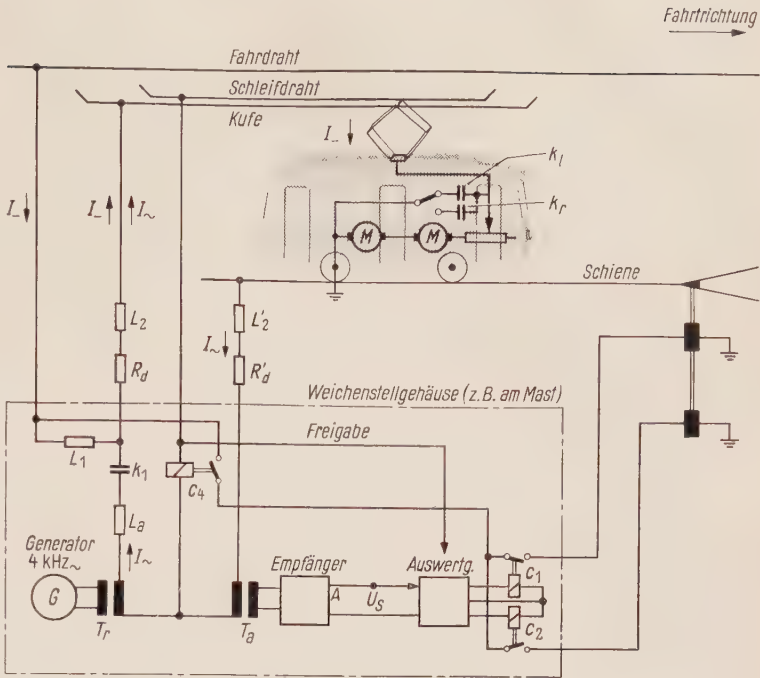
2 bis 3 s lang erregt. Gleichzeitig zieht c_4 an und bleibt so lange unter Spannung, wie das Schütz c_1 oder c_2 eingeschaltet ist. Der angewählte Weichenzugmagnet wird mit Fahrdrachtspannung über die Schütze c_4 und c_1 oder c_2 erregt. Nach Ablauf einer Zeitstufe in der Auswertung schalten das Schütz c_1 oder c_2 und damit auch das Schütz c_4 ab; der Weichenzugmagnet wird stromlos. Nach dem Verlassen der Kufe fällt auch das Schütz c_3 ab, d. h., die Stromsteuerung ist funktionsbereit. Die weiteren Einsätze enthalten die Auswertschaltung, den Empfänger und den Transistorgenerator.

In einem weiteren Einsatz ist die Einrichtung für die Stromversorgung N, M, P für die Transistorgeräte ± 24 V gegen M untergebracht. Diese kann an ein 220-V-Netz, oder in weiterer Zukunft mit Hilfe von Halbleiter-Wechselrichtern an die Fahrdrachtspannung angeschlossen werden.

Wirkungsweise
der Frequenz-Weichensteuerung

Bild 4 zeigt die Wirkungsweise der Frequenz-Weichensteuerung. Von der Fahrleitung fließt der Gleichstrom I_- beim Befahren der Kufe über eine Drossel L_1 zum Stromabnehmer, von hier aus zum Fahrmotor und zu den Hilfsstromkreisen (Heizung, Beleuchtung usw.). Diesem Gleichstrom I_- wird ein Wechselstrom I_\sim überlagert, der von einem Transistorgenerator erzeugt und über einen Transformator T_r in den Steuerkreis eingespeist wird. Der Wechselstromkreis ist in seiner Wirkung durch die Drossel L_1 mit großer Induktivität von der Fahrleitung getrennt. Vom Transformator T_r fließt der Wechselstrom durch die sogenannte Ausgleichsdrossel L_a über den Trennkondensator k_1 (Sperrung der Fahrdrachtspannung) über eine Leitung zur Kufe.

Die Induktivität und der ohmsche Widerstand dieser Leitung müssen berücksichtigt werden, sie sind in Bild 4 ersatzweise durch L_2 und R_d dargestellt. Von der Kufe kann der Wechselstrom über den Stromabnehmer und einen der beiden im Triebwagen eingebauten Steuerkondensatoren k_l oder k_r zurückfließen. Die Induktivität und der ohmsche Widerstand der Rückleitung, ersatzweise durch L'_2 und R'_d angegeben, dürfen ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Über den Auskoppeltransformator T_a wird der Wechselstrom einem Empfänger zugeführt. An dessen Ausgang A entsteht je nach Größe des Stromes die Spannung U_l , U_r oder 0 V, wenn kein Wechselstrom fließt. Dies ist dann der Fall, wenn kein Steuerkondensator eingeschaltet ist; denn die Fahrmotoren und Hilfsbetriebe im Fahrzeug, wie Heizung



I_-	Fahrstrom	L_2, L'_2	Ersatzinduktivität der Zu- oder Rückleitung
I_\sim	Steuerstrom	R_d, R'_d	Ersatzwiderstand der Zu- oder Rückleitung
k_l, k_r	Steuerkondensatoren für »links« und »rechts«	T_r	Einkoppeltransformator für Steuerstrom
L_1	Trenndrossel	T_a	Auskoppeltransformator für Steuerstrom
k_1	Trennkondensator	c_1, c_2, c_4	Schütze
L_a	Ausgleichsdrossel	U_s	Steuerspannung ($U_s = U_l$ für Weiche links, $U_s = U_r$ für Weiche rechts)

Bild 4 Grundschialtung der Frequenz-Weichensteuerung

usw., bilden für den Wechselstrom einen sehr hohen Widerstand im Vergleich zum Wechselstromwiderstand der Steuerkondensatoren.

Die Ausgangsspannung U_l bzw. U_r wird einer Transistor-Auswertschaltung zugeführt, die die Weichenschütze betätigt. Das Sicherheitsschütz c_4 wird erst dann erregt, wenn der Stromabnehmer den Schleifdraht an

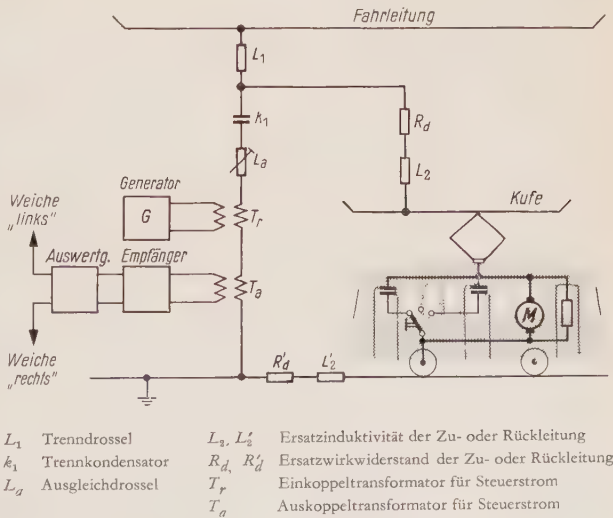


Bild 5 Schaltung des Steuerkreises

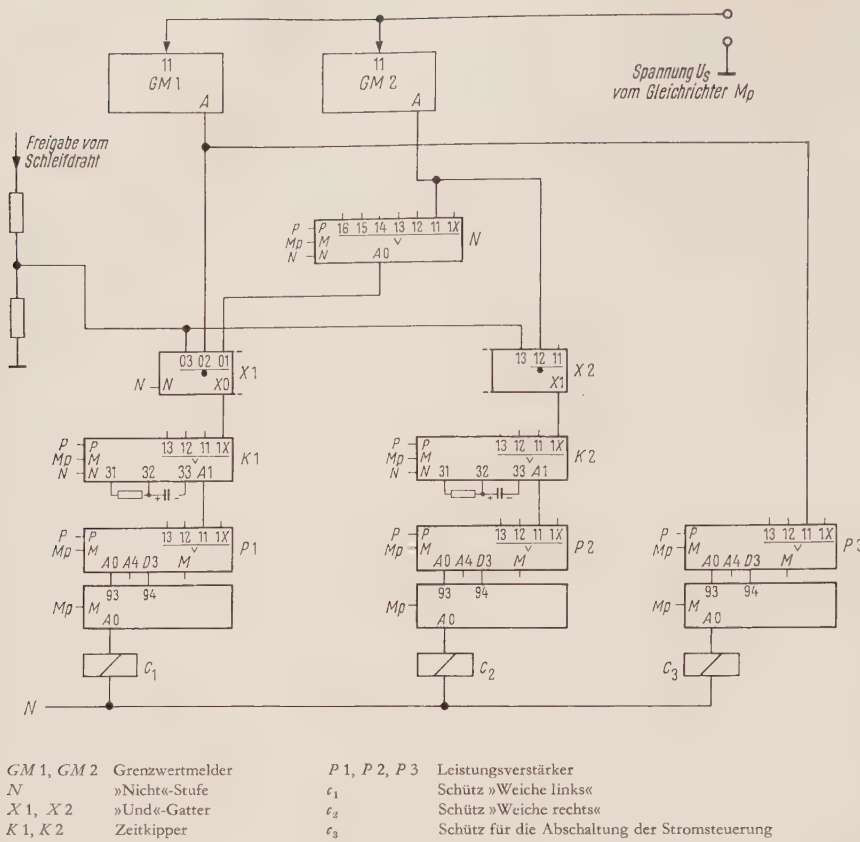


Bild 6 Grundsätzlicher Aufbau des Auswertgerätes mit SIMATIC-Bauteilen

Fahrleitungspotential gelegt hat. Durch diese Anordnung wird verhindert, daß eine Fehlauslösung der Weichenschütze zu einem Ansprechen der Zugmagnete führt, da diese ihre Betätigungsspannung über einen Kontakt des Schützes c_4 erhalten.

Steuerkreis

Der Steuerkreis ist ein Reihenresonanzkreis (Bild 5), dessen Induktivität $L = L_2 + L'_2 + L_a$ für jede Weiche konstant sein muß. Dies wird dadurch erreicht, daß L_a für jede Weiche einmal eingestellt wird und somit die unterschiedlichen Zu- und Rückleitungsinduktivitäten ausgeglichen werden. Die Kapazität des Kreises wird aus der Hintereinanderschaltung von k_l mit dem Steuerkondensator k_r für »links« oder k_r für »rechts« gebildet. Gedämpft wird der Kreis durch die ersatzweise mit $R_d + R'_d$ bezeichneten Leitungswiderstände. Durch entsprechende Bemessung des ohmschen Wicklungswiderstandes der Ausgleichdrossel L_a wird für jede Weiche auch die Dämpfung des zugehörigen Steuerkreises konstant gehalten.

Für einen Befehl, z.B. »Weiche rechts«, ist der Steuerkreis durch den Kondensator k_r auf Resonanz abgestimmt, es fließt der maximale Steuerstrom. Der Befehl »Weiche links« wird durch Einschalten des Kondensators k_l gegeben, der Steuerstrom hat ungefähr den halben Wert des Resonanzstromes (Halbverstimmung). Durch

entsprechende Wahl der Frequenz läßt sich erreichen, daß $k_r = k_l = 2k_l$ ist. Das hat den Vorzug, daß für die gesamte Anlage nur ein Kondensatortyp erforderlich ist.

Der Transistorgenerator und der Empfänger sind durch die Transformatoren T_r und T_a sehr lose an den Steuerkreis angeköpelt, um die Störimpulse aus der Fahrleitung und die Oberwellen der Fahrleitungsspannung von den Transistoren des Generators und des Empfängers fernzuhalten. Der Transistorgenerator enthält eine Schwingerschaltung, durch die ein Leistungsverstärker angesteuert wird. Der Empfänger ist auf die Steuerfrequenz abgestimmt; eine Gleichrichterschaltung bildet den Ausgang.

Auswertung

Die Auswertung enthält »logische« Baugruppen des SIMATIC*-Systems (Bild 6) [1, 2, 3]. Vom Gleichrichter gelangt die Steuerspannung U_s auf zwei Grenzwertmelder GM1 und

GM2. Diese haben unterschiedliche Ansprechwerte, d. h., wenn eine bestimmte Spannungshöhe an den Eingängen 11 anliegt, führt der Ausgang A Signalspannung (L-Signal). Ist $U_s = U_l$, also bei der Halbverstimmung des Steuerkreises, so spricht nur GM1 an, bei $U_s = U_r$ haben beide Melder an ihren Ausgängen L-Signal.

Im Fall $U_s = U_l$ liegt an den beiden Eingängen des »Und«-Gatters X1 L-Signal, denn die »Nicht«-Stufe N wird an ihrem Eingang 11 nicht angesteuert, der Ausgang A0 hat L-Signal. Der Ausgang A des »Und«-Gatters X1 beaufschlagt den Zeitkipper K1. An dessen Ausgang steht eine bestimmte Zeit lang L-Signal an, das die Leistungsstufe P1 aufsteuert; das Weichenschütz für »links« wird erregt. Voraussetzung ist hierbei, daß das »Und«-Gatter X1 auch vom Schleifdraht freigegeben wird.

Im Fall $U_s = U_r$ (voller Resonanzstrom) spricht auch GM2 an. Das L-Signal am Ausgang A0 der »Nicht«-Stufe N verschwindet, das »Und«-Gatter X1 und damit auch der Kipper K1 und die Leistungsstufe P1 sind gesperrt. Statt dessen kann der Kipper K2 über P2 das Weichenschütz für »rechts« erregen. Auch in diesem Fall ist Voraussetzung, daß X2 vom Schleifdraht durch ein L-Signal freigegeben wird.

* Eingetragenes Warenzeichen

In der praktischen Durchführung sind noch weitere Stufen erforderlich, um z. B. die Auswirkungen des Bügelspringens zu verhindern.

Abschaltung der Stromsteuerung

Für eine gewisse Übergangszeit wird sich die Steuerung der Weichen sowohl mit der bisherigen Stromsteuerung als auch mit der neuen Frequenz-Weichensteuerung nicht umgehen lassen, da eine schlagartige Umstellung der Weichen und Fahrzeuge nur schwer möglich ist. Die Stromsteuerung wird durch das Schütz c_3 außer Funktion gebracht (s. Bild 6). Sobald der Grenzwertmelder $GM1$ anspricht, d.h., wenn durch den Steuerkreis ein Strom fließt, wird das Schütz c_3 erregt, dessen Ruhekontakt

sich öffnet und die Stromsteuerung so lange abschaltet, wie der Bügel auf der Kufe schleift.

Bei Fahrvorschrift II ist nur ein Steuerkondensator erforderlich. Dadurch ergibt sich bereits beim gemischten Betrieb mit Stromsteuerung und Frequenzsteuerung während der Übergangszeit der Vorteil, daß mit mehreren Stromabnehmern gefahren werden kann.

Schrifttum

- [1] Zenneck, H. und Tschermak, M.: Das SIMATIC-System – eine Neuentwicklung für Steuerungen. Siemens-Zeitschrift 33 (1959) 593 bis 598
- [2] Weitbrecht, W. und Sinn, G.: Aufbau des SIMATIC-Systems. Siemens-Zeitschrift 33 (1959) 598 bis 606
- [3] Hruschka, U. und Krimmling, H.-J.: Konstruktive Gestaltung und fertigungstechnische Probleme des SIMATIC-Systems. Siemens-Zeitschrift 33 (1959) 612 bis 617

Die rundfunktechnischen Einrichtungen des neuen Funkhauses in Beirut

VON PETER PAUL SÜTHER

Im Jahre 1955 entschloß sich die libanesische Regierung zu einem großzügigen Ausbau ihres Rundfunks, der außer einer möglichst umfassenden Landesversorgung auch den Kontakt mit den in alle Welt ausgewanderten Libanesen herstellen soll. Zur Lösung dieser Aufgabe nahm das libanesische Informationsministerium die technische Hilfe der Vereinten Nationen in Anspruch. Die UIT-Experten der Vereinten Nationen arbeiteten

zusammen mit den Fachleuten der libanesischen Regierung die technischen Pflichtenhefte für die Errichtung einer nationalen Rundfunkstation – bestehend aus dem Rundfunkstudiohaus in Beirut (Bild 1) und der Sendestation in Amchite – aus.

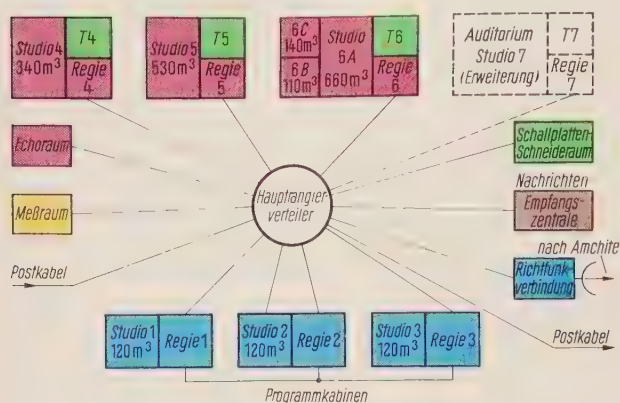
Im Jahre 1957 erhielt das Haus Siemens, das sich hierfür mit der Telefunken GmbH und mit der ETS. Kettaneh S.A. als Bauunternehmer zusammengeschlossen hatte,



Bild 1 Das neue Funkhaus in Beirut

den Auftrag für die schlüsselfertige Ausführung des Gesamtprojektes.

In der ersten Ausbaustufe waren auszurüsten (Bild 2):



T Tonträgerraum

Bild 2 Raumplan der Produktions- und Sendestudios

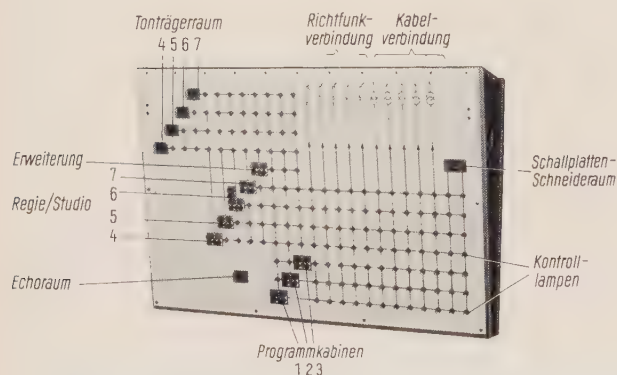
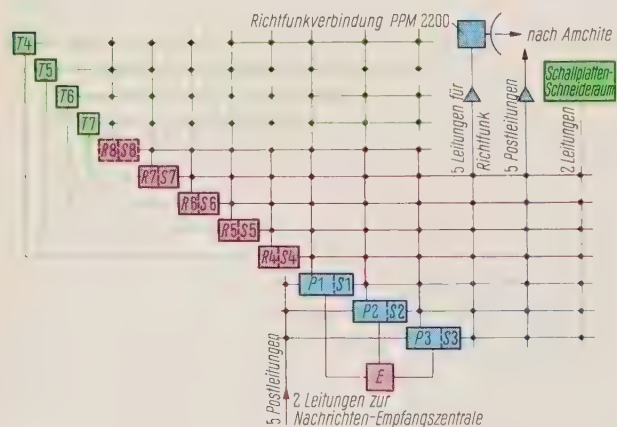


Bild 3 Belegungstableau der Produktions- und Sendestudios



T Tonträgerraum

S Studio

E Echoraum

R Regie

P Programmalkabinen

Bild 4 Verkehrsplan der Produktions- und Sendestudios

drei Studios für die Eigenproduktion von Programmen, auch solchen unterschiedlichen Charakters,

vier Räume für die Tonaufzeichnung und die weitere Bearbeitung der Programme,

drei Studios für die gleichzeitige Sendung von drei Programmen,

ein zentraler Verstärker- und Verteilerraum

Ferner waren umfangreiche technische Nebenanlagen zu planen und einzurichten, und zwar: drei Fernsprechanlagen mit einer Funkverbindung zur Sendestation in Amchite, eine elektrische Uhrenanlage mit Zentraluhr, eine Antennenanlage mit elektronischen Antennenverteilern, eine Nachrichten-Empfangszentrale, zwei drahtlose Übertragungsanlagen für Rundfunk sowie eine Meßraumausrüstung für die Wartung und Reparatur der Anlagenteile. Die Stromversorgung war so zu planen, daß sie insbesondere die hohen Anforderungen eines Studiobetriebes bezüglich der Frequenz- und Spannungs-konstanz erfüllt.

Während bei der Tonübertragungs- und -aufzeichnungsanlage und bei den technischen Nebenanlagen zu einem wesentlichen Teil die europäische Rundfunktechnik angewendet werden konnte, stellte das Überwachungssystem für die Tonübertragungsanlage die Planung und Konstruktion vor neue Aufgaben. Die durch ein Baupflichtenheft vorgegebenen Raumverhältnisse führten unter Berücksichtigung der geforderten Platzreserve für Erweiterungen zwangsläufig zu der Lösung, die Regie- und Schaltpulte in gestellter Technik aufzubauen. Die übersichtliche Anordnung der umfangreichen Eingangs-, Modulations- und Ausgangsverteiler mit ihren zahlreichen Signal- und Blockierungseinrichtungen und ihre sinnvolle Einfügung in das Blindschaltbild der Regie- und Schaltpulte konnte nur durch Verwendung raumsparender Bauelemente erreicht werden. Zur Tonübertragungsanlage gehört ein fest an die einzelnen Tonkanäle gekoppeltes Signalsystem, das die Kanäle überwacht und bei Fehlschaltungen blockiert, wodurch das Betriebspersonal stark entlastet wird. Dies erfordert jedoch einen großen Aufwand an Steuer- und Signaleinrichtungen. Der Schaltzustand der Tonkanäle wird durch verschiedenfarbige Signallampen angezeigt, die in das Blindschaltbild eingefügt sind. Der Betriebszustand der Gesamtanlage ist auf neun großen Signaltableaus, die das Verkehrsschema des Funkhauses zeigen, an 200 Signallampen ablesbar (Bild 3).

Produktions- und Sendestudios

Diese Studios nehmen im Raumprogramm eines Funkhauses eine Sonderstellung ein. Sie sind die bau- und elektrotechnisch kompliziertesten, aber auch interessantesten Raumgruppen, von deren reibungslosen Funktionieren die Programmproduktion, deren Bearbeitung

zusammengeschaltet. Am VF -Verteiler werden die ankommenden Tonkanäle auf das Gruppenregler-Mischfeld, die Universalentzerrer und die Echomischregler aufgeschaltet. Die beliebig mögliche Belegung der Gruppenregler und die beliebig mögliche Einschleifung der Entzerrer oder des Echokanals bedeuten eine wesentliche Betriebserleichterung, da sie die Bildung von Tonkanalgruppen für die laufenden und vorzubereitenden Sendungen ermöglichen.

Die sendefertigen Programme der Produktions- und Sendestudios laufen am VS -Verteiler auf und werden hier auf die zehn abgehenden Sendeleitungen und, wenn erforderlich, parallel auf die Aufnahmeleitungen des Schallplattenschneideraumes geschaltet. Um das unbeabsichtigte Zusammenschalten zweier niederohmiger Tonquellen am OL -, VM - und VS -Verteiler zu verhindern, sind diese in den drei parallelgeschalteten Sendestudios gegeneinander elektromagnetisch verriegelt; der Schaltzustand wird signalisiert. Die Steuerung, Überwachung und Blockierung der Tonübertragungsanlage wird von einem Signalsystem übernommen, dessen Steuer- und Weiterschaltungspunkte gleichzeitig mit der Durchschaltung der Modulationsspannung durch einen gemeinsamen Verbindungsstecker betätigt werden. Um eine bestimmte Zwangsläufigkeit der für Sendungen oder Aufnahmen zu tätigen Schaltungen zu erreichen, gibt der jeweils letzte Schaltungspunkt in der Tonübertragungskette die Steuerspannung für den Aufbau des Schaltweges frei (Bild 7).

Bei Auslassen eines Schaltvorganges bleiben die Folge-signale aus, wodurch der Schaltungstechniker auf die Fehlschaltung aufmerksam gemacht wird. Signalursprung in den Sendestudios ist bei Sendungen der VS -Verteiler, bei Aufnahmen das Kreuzschienefeld der Tonträger-

einheiten. Die Steuerkriterien werden mit dem Sendeschalter ausgewählt. Die Zwangsläufigkeit der Schaltungsvorgänge wird besonders deutlich bei der Reihenschaltung eines Produktionsstudios mit einem Sendestudio (Bild 7). Nach Vorbereitung des Sendeweges im Sendestudio läutet beim Durchverbinden der Übernahmeleitung des Produktionsstudios am VR -Verteiler in dessen Regieraum ein Alarmwecker, der erst abgeschaltet wird, wenn das Produktionsstudio sich auf die Übernahmeleitung aufgeschaltet hat. Die Mikrofone im Studio werden erst freigegeben, wenn alle Verbindungen lückenlos hergestellt sind. Durch hochwertige symmetrische Kassettenverstärker und Bauelemente, durch ein lückenlos geschirmtes symmetrisches Kabelnetz und ein sorgfältig geplantes Betriebserde-Schutzerde-System wurden Ergebnisse erzielt, die weit innerhalb der Toleranzwerte des Pflichtenheftes liegen. Die Auswertung der Ergebnisse zeigen die Bilder 8, 9 und 10. Bild 8 zeigt die Pflichtenhefttoleranzen des Frequenzganges für einen einzelnen Mikrofonverstärker. Die rot eingetragene Kurve stellt den Frequenzgang einer betriebsmäßig in Serie geschalteten Übertragungskette mit acht Verstärkern eines Produktions- und Sendestudios dar. Bild 9 zeigt die Pflichtenhefttoleranzen der Klirrfaktoren für einen Mikrofonverstärker. Die rot eingetragene Kurve stellt die Klirrfaktoren einer betriebsmäßig in Serie geschalteten Übertragungskette mit acht Verstärkern eines Produktions- und Sendestudios dar; Bild 10 zeigt das bei 100% Übersteuerung. Die Geräuschspannungswerte einer betriebsmäßig zusammengeschalteten Übertragungskette sind in Bild 5 mit dargestellt.

Installationstechnik

In hochwertigen elektroakustischen Anlagen kommt der sorgfältigen Kabel- und Leitungsinstallation aller Anlageteile besondere Bedeutung zu. Die niederpegeligen Anlageteile und Leitungen der Tonübertragungsanlage müssen gegen eine Vielzahl von Störungen geschützt werden, die häufig in ihren Auswirkungen nicht vorausberechenbar sind. Als Verbindungsleitungen für Tonfrequenz-Übertragungsanlagen wurden Spezialkabel verwendet. Die Kabel haben wesentlich zu den guten Ergebnissen beigetragen. Sämtliche Tonfrequenz-, Signal- und Fernmeldeleitungen von und zu den einzelnen Räumen laufen über einen zentralen Haupttrangierverteiler.

Die Starkstrominstallationen wurden, soweit sie flexibel sein müssen, mit geschirmten Kabeln ausgeführt, in allen anderen Fällen mit kunststoffisolierten Leitungen in Stahlpanzerrohren, deren Trennstellen sorgfältig galvanisch verbunden sind. Da sich die Installation eines Funkhauses mit

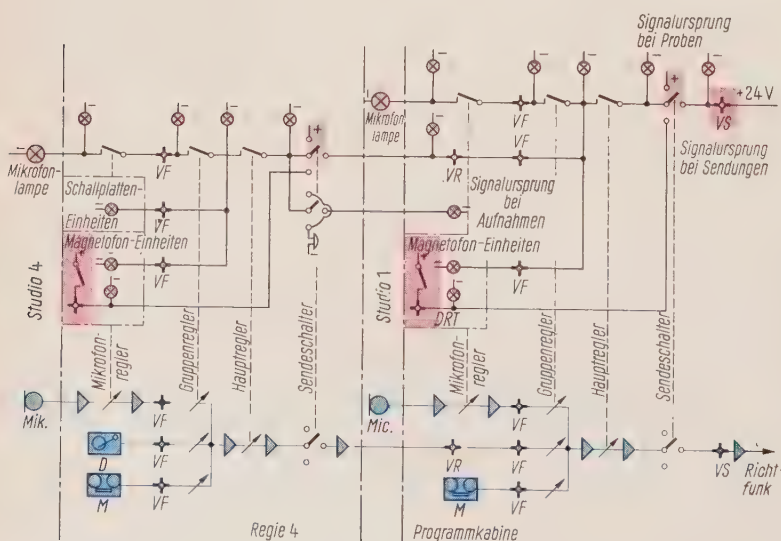


Bild 7 Vereinfachtes Signalschema der Modulationskanäle

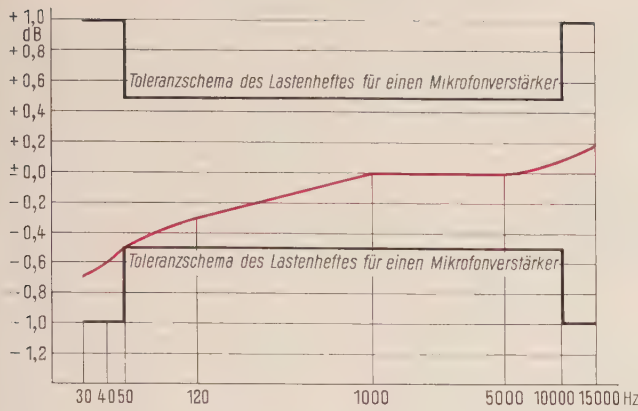


Bild 8 Frequenzgang einer Verstärkerkette Studio-Regie-Programmkabine; acht Verstärker in Serie geschaltet, Ausgangsspannung +15 dBm (4,4 V)

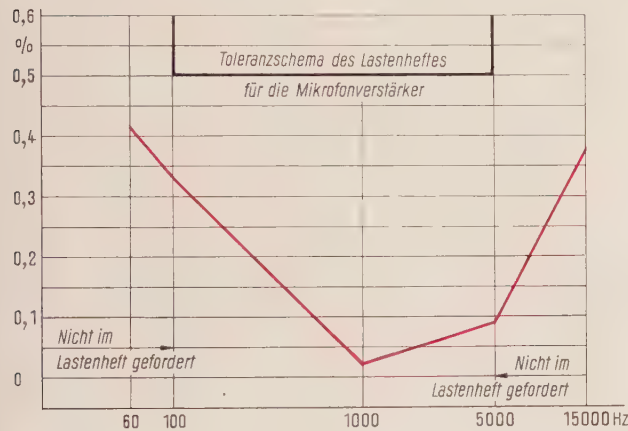


Bild 9 Klirrfaktor einer Verstärkerkette Studio-Regie-Programmkabine; acht Verstärker in Serie geschaltet, Ausgangsspannung +15 dBm (4,4 V)

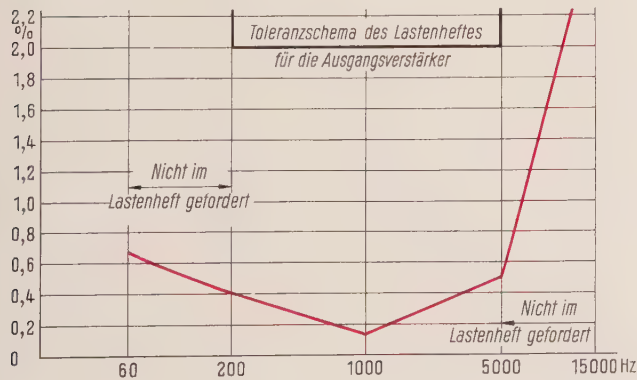


Bild 10 Klirrfaktor einer Verstärkerkette Studio-Regie-Programmkabine; acht Verstärker in Serie geschaltet, Ausgangsspannung +21 dBm (8,8 V), 100% Übermodulation

der fortschreitenden Entwicklung der Technik zwar langsam, aber stetig ändert, wurden reichlich bemessene vertikale und horizontale Kabelschächte vorgesehen.

Betriebserde- und Schutzerdensystem, Hochfrequenzabschirmung

Um eine Beeinflussung der elektroakustischen Anlagen durch Ausgleich- und Fehlströme der Starkstromanlagen zu vermeiden, wurde besonders sorgfältig ein umfangreiches Betriebserde- und Schutzerdensystem installiert, das aus einem äußeren und inneren Erdring besteht. Voraussetzung hierfür war die Einführung der stromlosen Erdung (Stromleitungssystem) der Starkstrominstallation. Bei dieser Technik wird der Nulleiter wie ein stromführender Leiter verkabelt und nicht mehr zur Schutzerdung der Geräte, der Starkstromkabelschirme und Blechteile der Starkstrominstallation verwendet.

Die Aufgabe der Schutzerde übernimmt ein zusätzlicher (stromloser) Nulleiter. Der nach VDE-Vorschrift 0100 gemessene Erdübergangswiderstand der Gesamtanlage beträgt 0,045 Ω . Ausgleichströme auf den Abschirmungen der Tonübertragungsanlage waren nach Inbetriebnahme des Funkhauses nicht meßbar.

Zum Schutz der empfindlichen Tonübertragungs- und -aufzeichnungsanlage gegen HF-Einstreuungen wurden schon beim Bau des Gebäudes Maßnahmen getroffen, die ein Eindringen von Hochfrequenzenergie verhindern. Da es schwierig war, den gesamten Studioblock lückenlos zu schirmen, wurden die technischen Räume einzeln mit einem Abschirmnetz aus verzinktem Maschendraht mit etwa 2 cm \times 3 cm Maschenweite versehen. Es ist zu erwarten, daß störende HF-Energien zwischen 200 kHz und 1,5 MHz um etwa 20 dB geschwächt werden.

Fernmeldetechnische Einrichtungen

Neuzeitliche Fernmeldeanlagen ermöglichen eine rasche, reibungslose Abwicklung der vielfältigen Aufgaben, die ein komplizierter Funkhausbetrieb Tag für Tag fast ohne jede Unterbrechung stellt.

Dem an einen sekundengenauen Sendeablauf gebundenen Betrieb stehen zwei Fernsprechanlagen zur Verfügung, die unmittelbare interne und externe Sprechverbindungen ermöglichen. Es sind dies eine Betriebsfernsprechanlage nach dem OB/ZB-System und eine Wechselsprechanlage. Die Vermittlungseinrichtungen der OB/ZB-Fernsprechanlage sind in den Programmkabinen 1, 2 und 3 aufgestellt. Die OB/ZB-Sprechverbindungen enden auf Sonderfernsprechern mit zwei und fünf Linien, von denen je eine an die allgemeine Wähl-Nebenstellenanlage des Funkhauses angeschlossen ist.

An die Wechselsprechanlage sind die Regie-, Studio- und Tonträgeräume sowie der Meßraum angeschlossen. Sie dient ausschließlich zur Durchsage von Regieanweisungen über Lautsprecher. Neben dem kurzzeitigen Wechselsprechverkehr kann sie auch für Dauerverbindungen zu laufenden Durchsagen von Anweisungen

gen benutzt werden. Der Vorzug dieser Wechselsprechanlage besteht darin, daß der Regisseur sprechen kann, ohne an Kopfhörer oder Mikrofon gebunden zu sein.

Für den allgemeinen Fernsprechverkehr des Funkhauses wurde eine Wähl-Nebenstellenanlage NEHA* 15/88 installiert. Sie ist mit 15 Amtsübertragungen für den einfach- oder doppelgerichteten Amtsverkehr sowie einer Querverbindungs-Übertragung für den doppelgerichteten Querverbindungsverkehr über eine Funkbrücke zum Senderhaus in Amchite ausgerüstet. In der ersten Ausbaustufe sind 88 teils halb-, teils voll-amtsberechtigten Nebenstellen angeschlossen. Die ankommenden Gespräche werden über einen Bedienungsfernsprecher mit Zahlengabe vermittelt.

An die automatische Fernsprechanlage ist eine Personensuchanlage nach dem Zifferwahlsystem angeschlossen. Über eine Suchleitung können 30 Personen über 27 Suchtableaus gesucht werden. Die gesuchte Person kann sich von jedem Wählfernsprecher aus mit dem Suchenden durch die Wahl einer Kennzahl direkt in Verbindung setzen.

Zur sekundengenauen Abwicklung des Sendeablaufes dient eine zentrale Uhrenanlage nach dem Bausteinsystem. Eine Mutteruhr mit 12 Stunden mechanischer Gangreserve steuert Minuten- und Sekundenrelaissätze, die die Impulse umformen und die Minuten- und Sekunden-Nebenuhren im Gebäude steuern. Die Minutensteuerung ist sekundengenau. Die in den Studios und Regieräumen installierten Sekunden-Nebenuhren sind mit stark gedämpften Schaltwerken ausgerüstet. Die Störlautstärke dieser Uhren beträgt in einem Meter Abstand nur etwa 18 phon. Die Minuten- und Sekundenliniengänge sind durch Störschutzglieder entstört. Die 24-V-Batterie-Speiseleitung ist ebenfalls durch ein Entstörglied verriegelt.

Eine Hauslautsprecheranlage, über die sieben Programme abgehört werden können, versorgt die Büros des Funkhauses mit Programm-Modulation. Die Kraftverstärkereingänge können wahlweise auf die Ausgänge der sieben Studios oder die Ausgänge der Kontrollempfänger geschaltet werden. In der ersten Ausbaustufe wurden 30 Lautsprecher-Endstellen installiert, die mit einem Programmwähler und Lautstärkeregler ausgerüstet sind.

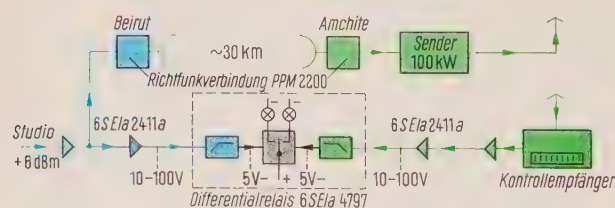


Bild 11 Grundscha der Studio-Sender-Überwachung durch Differentialrelais

Kontrollempfänger

Zur Kontrolle der Senderausstrahlungen sind zwei Spezialempfänger vorgesehen, jeder mit einem hochwertigen Mittelwellen- und Kurzwellenteil und einer Nachstimmautomatik. Die NF-Spannung wird auf den Pegel +6 dBm (1,55 V) an 35 Ω verstärkt. Diese Kontrollmodulation speist die Studios, die Kraftverstärker der Hauslautsprecheranlage und die Senderüberwachungs-Differentialrelais.

Gemeinschaftsantennenanlage

Eine Empfangsantenne, die den Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich erfaßt, speist über eine Antennenweiche zwei elektronische Antennenverteiler mit den Bereichen 10 kHz bis 2,2 MHz und 1,6 bis 30 MHz. Die elektronischen Antennenverteiler speisen rückwirkungsfrei über je sechs unsymmetrische 60- Ω -Ausgänge vier Allwellenempfänger Fu E 566 der Nachrichtenempfangszentrale, die Senderkontrollempfänger im Verstärker- und einen Antennenverstärker SAV 332 W.

Der Antennenverstärker versorgt über zwei Ringleitungen 30 Antennensteckdosen in den Büros des Studio- und Administrationsgebäudes.

Drahtlose Senderüberwachung

Für die drahtlose Senderüberwachung wurde ein besonderes System entwickelt (Bild 11). Die NF-Ausgangsspannung der Sendestudios wird nach Verstärkung auf etwa 100 V (Vollaussteuerung) einem elektronischen Differentialrelais zugeführt. Nach scharfer Begrenzung der zwischen 10 und 100 V schwankenden Eingangsspannung durch eine übersteuerte Röhre steht eine konstante Ausgangsspannung zur Verfügung, die die Wicklung 1 eines Differentialrelais erregt. Die zur Differenzierung benötigte NF-Vergleichsspannung gewinnt man aus dem ankommenden HF-Signal des Senders nach Demodulation durch die Kontrollempfänger. Diese Vergleichsspannung wird, wie beschrieben, verstärkt, begrenzt und der zweiten Wicklung des Differentialrelais zugeführt. Damit ist das Relais in einen neutralen Zustand gebracht. Ausfall eines Modulationszweiges löst Alarm aus. An Kontrolllampen ist erkennbar, in welchem Kontrollzweig die Modulationsspannung fehlt.

Stromversorgungsanlage

Die Forderung nach hoher Betriebssicherheit kann außerdem nur erfüllt werden, wenn die Stromversorgungsanlage Störungen und Unregelmäßigkeiten des Stadtnetzes auffängt und überbrückt. Das Stadtnetz als Hauptenergiequelle wird daher im Funkhaus durch ein Diesel-Notstromaggregat und eine frequenz- und spannungsstabile Umformergruppe ergänzt. Entsprechend den unterschiedlichen Notbetriebsbedingungen der ein-

* Eingetragenes Warenzeichen

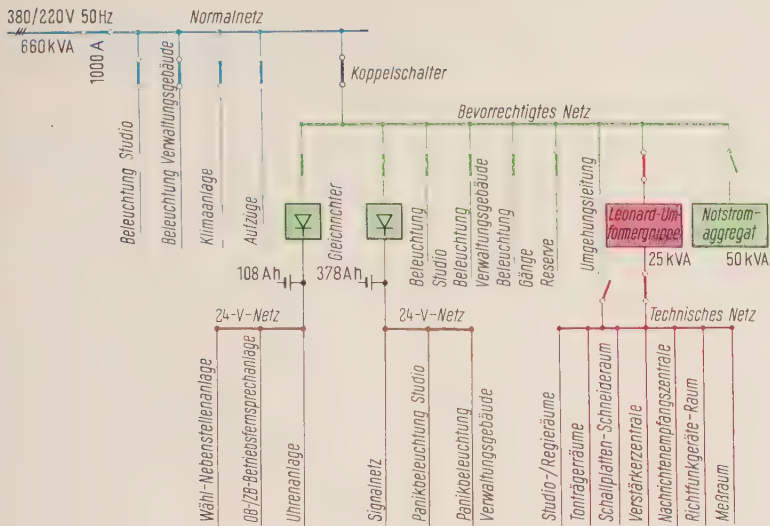


Bild 12 Stromversorgungsnetze des Funkhauses

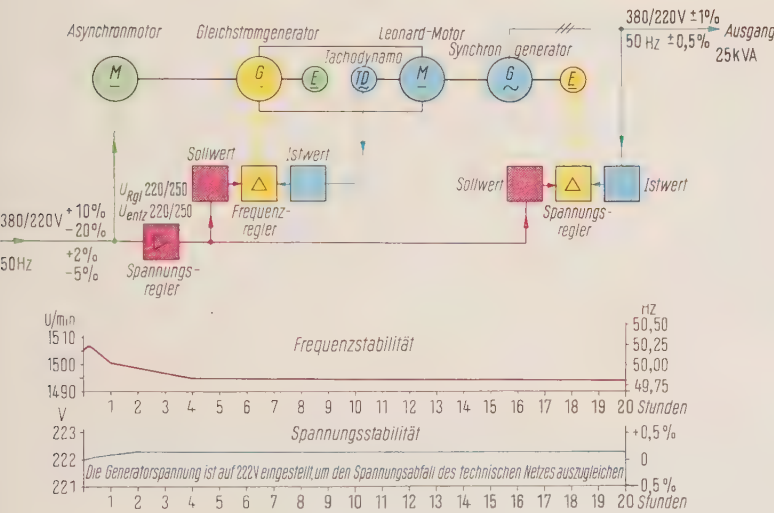


Bild 13 Leonard-Umformerguppe

zeln Verbrauchergruppen ist die Stromversorgungsanlage in fünf Netze aufgeteilt. In der Niederspannungszentrale werden die Sammelschienen dieser fünf Netze je nach Betriebsart gemeinsam oder getrennt gespeist (Bild 12). Es mußten Schaltmöglichkeiten für vier Betriebsfälle vorgesehen werden, um bei Störungen in der Stromversorgungsanlage den Ablauf des Produktions- und Sendebetriebes sicherzustellen. Im Normalfall werden die Verbraucher des normalen und des bevorrechtigten Netzes direkt und das technische Netz indirekt über die Umformerguppe aus dem Städtnetz gespeist.

Im Notbetriebsfall, bei Totalausfall oder Spannungsabsenkungen des Städtnetzes um 25% der Nennspannung, übernimmt das 50-kVA-Diesel-Notstromaggregat automatisch nach 10 bis 12 s die Speisung des bevorrechtigten Netzes; es speist unter Umgehung der Umformerguppe auch direkt das technische Netz. In Sonderfällen – zur Fortsetzung einer mit der Umformerfrequenz begonnenen hochwertigen Programmaufzeichnung – kann die Umformerguppe von Hand auf das Diesel-Notstromaggregat aufgeschaltet werden. Eine weitere Schaltstellung ermöglicht bei Normalbetrieb die Umgehung der Umformerguppe, z.B. bei Reparaturen.

Bei der Bemessung der Umformerguppe mußte davon ausgegangen werden, daß das Städtnetz Spannungsschwankungen von +10% bis -25% der Nennspannung 380/220 V und Frequenzschwankungen von +2% bis -5% der Nennfrequenz 50 Hz aufweist.

Für den Antrieb der drehzahlabhängigen Tonaufzeichnungs- und -wiedergabegeräte, wie Magnetbandgeräte und Plattenspieler, sowie für die Speisung der Tonfrequenzverstärker wird jedoch ein spannungs- und frequenzstabiles Netz von 220 V ±1% und 50 Hz ±0,5% benötigt. Als weitere Forderung kam hinzu, daß störende Tontransponierungen, die durch Laststöße im technischen Netz hervorgerufen werden, innerhalb der Einschwingzeit des Ohres in etwa 70 ms ausgeglichen werden müssen. Diese Bedingungen erfüllt die Umformerguppe mit elektronischer Regelung (Bild 13).

Die Spannungsregelung wird durch einen Transistor-Zweipunktregler bewirkt, der den Strom der Erregermaschine des Synchrongenerators steuert. Als Steuerkriterium dient die aus der Gegeneinanderschaltung des Soll- und Istwertes gegebenenfalls auftretende Differenzspannung. Die Frequenzregelung arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Der Istwert wird einer Mittelfrequenz-Tachomaschine entnommen, die eine drehzahlproportionale Spannung abgibt, und mit dem Sollwert verglichen. Die sich bei Abweichungen vom Sollwert ergebende Differenzspannung dient als Steuerkriterium. Geregelt wird der Erregerstrom des Gleichstrom-Steuer- generators. Die unter Betriebsbedingungen ermittelten Werte bezüglich Frequenz- und Spannungs Konstanz sind günstiger als gefordert.

Ferngesteuerte Drehstrom-Reihenschlußmotoren für Zuckerrohr-Mühlenantriebe

VON WERNER ROJEK

In der Zuckerfabrik Laredo (Peru) wurde 1958 eine Zuckerrohr-Mühlenanlage wieder in Betrieb genommen, die zuvor von Dampfmaschinen angetrieben worden war und nunmehr mit Drehstrom-Kommutatormotoren ausgerüstet ist. Über die Untersuchungen, die zu dieser elektrischen Antriebsart geführt haben, wurde in einem früheren Beitrag¹⁾ berichtet.

Die modernisierte Mühlenanlage besteht aus sechs Trio-walzen, von denen je zwei über einen Tandemantrieb mit einem Motor verbunden sind (Bild 1). Wegen dieser Zusammenschaltung war es notwendig, die Vorgelege der jeweils gekuppelten Walzen entsprechend der in diesem Betrieb zum Ende der Anlage hin steigenden Drehzahlstufung unterschiedlich auszuführen. Das Übersetzungsverhältnis der Vorgelege beträgt bei der Eingangsmühle 1:4 und bei der Ausgangsmühle 1:5,2. Die Mühlen einschließlich der Vorgelege waren vorhanden. Da diese Anlagen bereits mehrere Jahrzehnte in Betrieb waren, wurde bei dem Umbau auf eine besonders geeignete Kupplung zwischen den Vorgelegen und den Übersetzungsgetrieben Wert gelegt, um zu verhindern, daß

etwa auftretende Axialschübe auf die Antriebselemente übertragen werden. Man hat sich für Bogenzahnkupp-lungen entschieden, die eine Axialverschiebung der Walzen und Vorgelege von 20 bis 30 mm ausgleichen können.

Alle dreistufigen Zweiwege-Übersetzungsgetriebe haben das gleiche Übersetzungsverhältnis von 1:42,5 und sind mit Sykes-Pfeilverzahnung sowie Ölumlaufkühlung über getrennt aufgestellte Ölkühler ausgerüstet. Zwischen Ge-triebe und Motor befindet sich eine elastische Zapfen-kupplung.

Die maximale Umgebungstemperatur der Mühlenanlage beträgt etwa 35 °C, die Kühlwassertemperatur etwa 25 °C, die relative Luftfeuchte etwa 70%.

Jeder als Antrieb verwendete Drehstrom-Reihenschluß-motor hat bei der höchsten Drehzahl von 1000 U/min eine Leistung von 370 kW. Der Steuerbereich beträgt 1:3, wobei zwischen 500 und 1000 U/min dauernd das

1) Rojek, W.: Elektrische Ausrüstungen von Zuckerrohr-Mühlenanlagen. Siemens-Zeitschrift 35 (1961) 695 bis 703

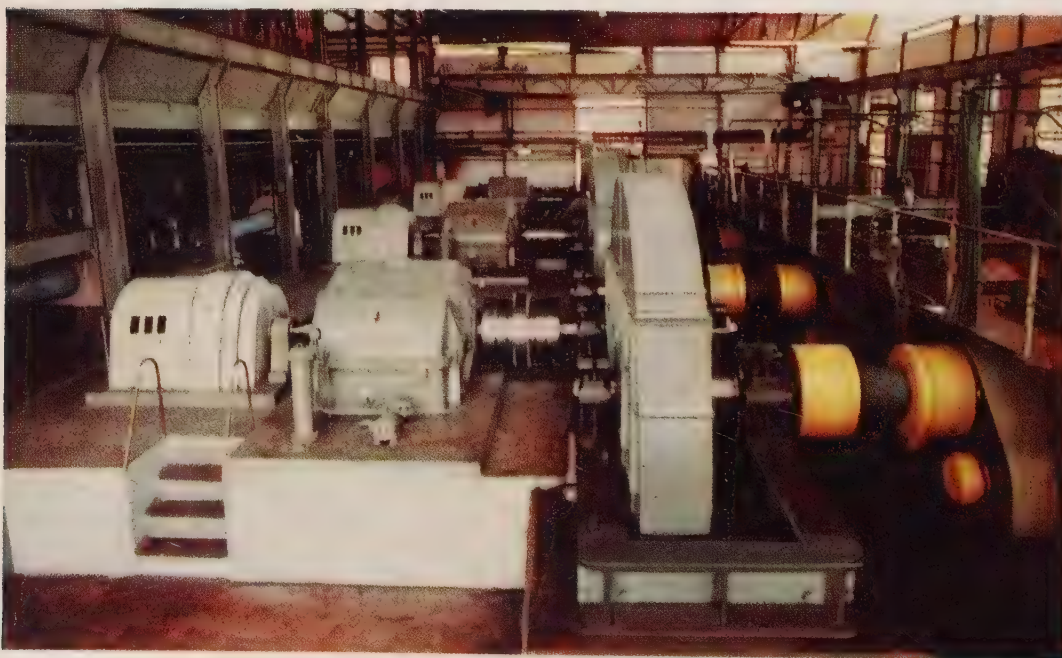


Bild 1
Ferngesteuerte
Drehstrom-
Reihenschluß-
motoren als
Mühlenantriebe
in der Rohrzucker-
fabrik Laredo
(Peru)

volle Nennmoment und zwischen 330 und 500 U/min dauernd das 0,75fache Nennmoment abgegeben werden kann. Im Ständer fließt bei der Nennspannung von 500 V ein Nennstrom von 520 A. Die wichtigsten Betriebsdaten für den Drehzahlbereich von 500 bis 1000 U/min sind aus Bild 2 zu ersehen.

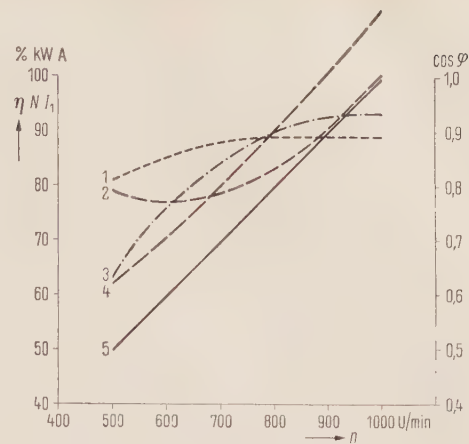
Da die Antriebe auch für Rückwärtslauf verwendbar sein müssen, um die Mühlen bei Verstopfungen ausräumen zu können, wurden die Motoren für Drehrichtungsumkehr eingerichtet. Durch geeignete Wahl der Anfahrschaltung und durch Umschaltung am Zwischenumspanner bei Drehrichtungsumkehr ergab sich der Vorteil einer gemeinsamen Bürstenanfahrschaltung für Vorwärts- und Rückwärtslauf. Hierdurch erhält man kurze flexible Verbindungsleitungen zwischen den Klemmen- und dem Bürstenträger.

Die Temperatur der Motorwicklungen wird mit Temperaturwächtern überwacht, die beim Ansprechen Schaltvorgänge einleiten und eine Warnung auslösen. Die Reihenschlußmotoren sind mit Anschlußstutzen für Fremdbelüftung versehen. Um einen Bürstenwechsel während der zehn bis elf Monate dauernden Kampagne zu vermeiden, wurden Bürsten mit einer größeren Abnutzlänge eingesetzt. Diese Maßnahme hat sich gut bewährt, da ein Bürstensatz für eine Betriebszeit von etwa 16 Monaten ausreicht. Die Gesamtabnutzung der Bürsten, bezogen auf 1000 Betriebsstunden und eine verarbeitete Cañamenge von etwa 65000 t, beträgt 1,57 mm oder, auf 1000 t Caña umgerechnet, 0,024 mm.

Die Bürstenhalter sind an einem Zahnkranz befestigt, über den die Bürstenverschiebung vorgenommen wird. Die Verstellung von Hand wird über ein Handrad vorgenommen, das mit einer kleinen Magnetkupplungsbremse ausgerüstet ist; diese verhindert, daß die Bürstenbrücke infolge der Bürstenreibung vom Läufer in Drehrichtung mitgezogen wird. Bei automatischer Regelung wird diese Bremse außer Betrieb gesetzt.

Die automatische Regelung übernimmt ein Schnellregler, der unmittelbar mit dem Zahnkranz der Bürstenbrücke gekuppelt ist und die Aufgabe hat, dem Reihenschlußmotor ein Nebenschlußverhalten aufzuzwingen. Die Anfahrschaltung ist über im Regler eingebaute Mittelstellungsmagnete festgelegt, die wirksam werden, sobald der für den Vorwärts- und Rückwärtsbetrieb als Zwei-seiten-Potentiometer mit gemeinsamer Nullstellung ausgebildete Sollwerteinsteller in Nullstellung gebracht wird. Die Steuerspule des dynamischen Meßwerkes wird zwischen die gleichgerichtete Wechselspannung der an dem Mühlenmotor angebauten Tachometermaschine und den Spannungsteilerabgriff einer stabilisierten Gleichspannung gelegt (Bild 3).

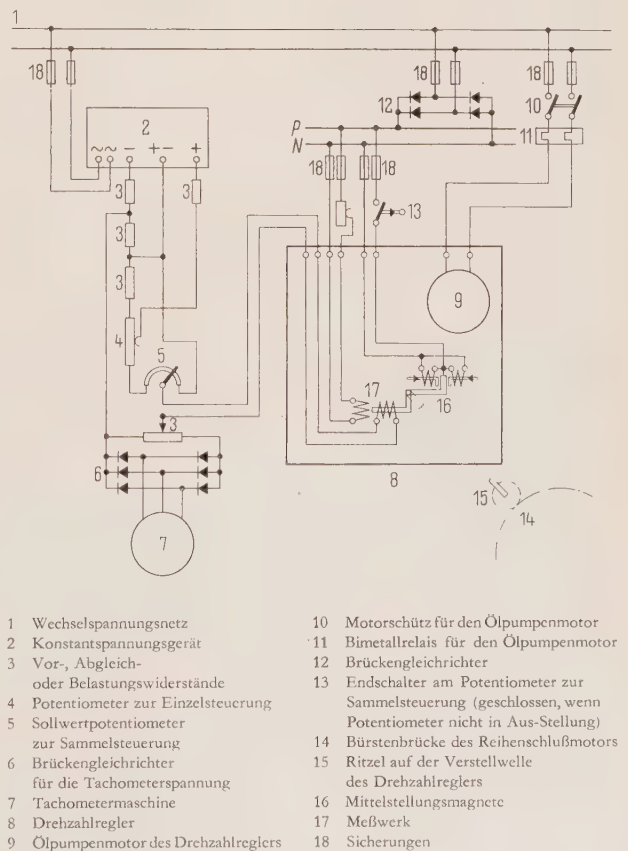
Wird über den Sollwerteinsteller eine gewünschte Drehzahl eingestellt, so dreht das Meßwerk die Reglerwelle so lange in die vorgegebene positive oder negative Richtung, bis die von der Tachometermaschine erzeugte



1 Wirkungsgrad η 3 Leistungsfaktor $\cos \varphi$ 5 Leistungsabgabe N
2 Ständerstrom I_1 4 Leistungsaufnahme N_1

Bild 2 Betriebskennlinien für einen 370-kW-Drehstrom-Reihenschlußmotor

Spannung den durch das Potentiometer vorgegebenen Wert kompensiert und Gleichgewicht herrscht. Der Gesamtstellwinkel des Reglers beträgt $\pm 150^\circ$; er kann über Begrenzer bis $\pm 120^\circ$ verringert werden, was für die Regelung ausreichend ist. An der Reglerwelle kann ein Drehmoment von etwa 3,1 kpm aufgebracht werden. Die

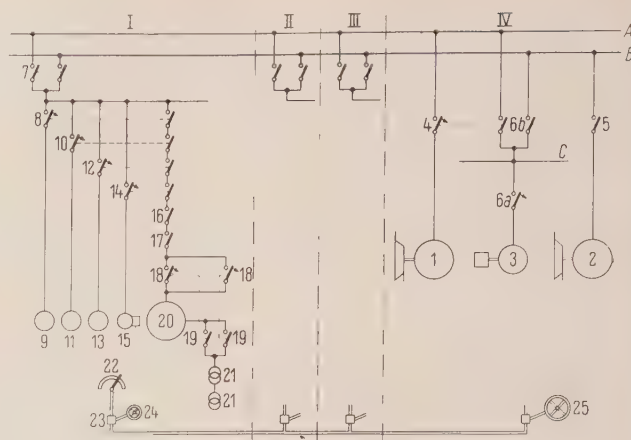


1 Wechselspannungsnetz 10 Motorschutz für den Ölpumpenmotor
2 Konstantspannungsgerät 11 Binettrelais für den Ölpumpenmotor
3 Vor-, Abgleich- oder Belastungswiderstände 12 Brückengleichrichter
4 Potentiometer zur Einzelsteuerung 13 Endschalter am Potentiometer zur Sammelsteuerung (geschlossen, wenn Potentiometer nicht in Aus-Stellung)
5 Sollwertpotentiometer zur Sammelsteuerung 14 Bürstenbrücke des Reihenschlußmotors
6 Brückengleichrichter für die Tachometerspannung 15 Ritzel auf der Verstellwelle des Drehzahlreglers
7 Tachometermaschine 16 Mittelstellungsmagnete
8 Drehzahlregler 17 Meßwerk
9 Ölpumpenmotor des Drehzahlreglers 18 Sicherungen

Bild 3 Grundschialtung eines Drehzahlreglers mit Mittelstellungsmagneten

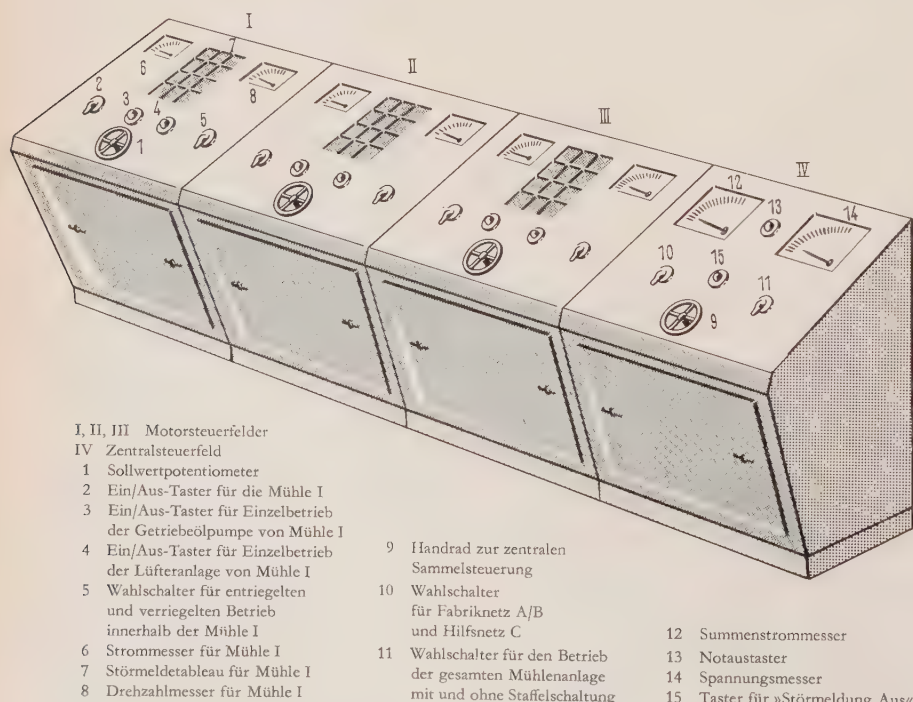
Gesamtverstellzeit beträgt etwa 1,3 s, d. h. von der Mittelstellung aus in jeder Richtung etwa 0,65 s. Zwei Rückführungen geben dem Regler große Stabilität und ermöglichen es, die Verstellzeit beliebig zu vergrößern. Die Regelgenauigkeit, bezogen auf die Bürstenbrücke, beträgt $\pm 1^\circ$ el. Die Schaltung des Reglers enthält eine Einzelsteuerung und eine Sammelsteuerung. Die Drehzahlstufung wird dabei nicht verändert.

Die Mühlenanlage wird von einem Pult aus gesteuert, das auf einer Bühne über der Mahlanlage aufgestellt ist (Bilder 4 und 5). Jedem Motor ist ein Steuerfeld zugeordnet, das die Strom- und Drehzahlmesser sowie einige Steuerschalter für Einzel- und Staffelnbetrieb enthält. Ferner ist ein Leuchttabelleau eingebaut, auf das etwaige Betriebsstörungen rückgemeldet werden. Der Rückmeldung für die Betriebsüberwachung wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt, um dem Überwachungspersonal durch die Anzeige von Art und Ort der Störung die Fehlersuche zu erleichtern. Das zum Anfahren und zur Drehzahlverstellung notwendige Sollwertpotentiometer ist ebenfalls auf dem Bedienungsfeld angebracht und von außen über ein Handrad, das eine Feineinstellung ermöglicht, zu betätigen. Die Mittelstellung des Potentiometers ist für beide Drehrichtungen zugleich die Aus-Stellung. Beiderseits der Null-Mittelstellung ist je eine weitere Stellung als Anfahrschaltung gekennzeichnet. Wenn das Potentiometer in diese Stellung gebracht und der Taster »Anfahren« betätigt wird, so stellt sich der Motor auf die der Anfahrschaltung entsprechende Drehzahl ein. Auch die Stellungen für die größte und die geringste Drehzahl sind gekennzeichnet.



- | | | | |
|-----|--|----|--|
| A | Fabriknetz für Zuckerfabrik | 11 | Kühlwasserpumpe |
| B | Fabriknetz für Mühlenanlage | 12 | Selbstschalter für Lüfteraggregat |
| C | Hilfsnetz | 13 | Lüfteraggregat |
| I | Schaltaufbau für Mühle I | 14 | Selbstschalter für Hilfspumpe vom Drehzahlregler |
| II | Schaltaufbau für Mühle II | 15 | Drehzahlregler |
| III | Schaltaufbau für Mühle III | 16 | Luftströmungswächter |
| IV | Schaltaufbau für Zentralsteuerfeld | 17 | Wasserströmungswächter |
| 1 | Turbosatz für Fabriknetz A | 18 | Selbstschalter-Umschalter für Reihenschlußmotor von Vorwärts- auf Rückwärtslauf |
| 2 | Turbosatz für Fabriknetz B | 19 | Hebelumschalter für Zwischenumspanner des Reihenschlußmotors von Vorwärts- auf Rückwärtslauf |
| 3 | Hilfsaggregat für Hilfsnetz C | 20 | Reihenschlußmotor |
| 4 | Selbstschalter für Turbosatz 1 | 21 | Zwischenumschalter |
| 5 | Selbstschalter für Turbosatz 2 | 22 | Sollwertpotentiometer |
| 6a | Selbstschalter für Hilfsaggregat 3 | 23 | Kupplung für Zentral/Sammelverstellung |
| 6b | Umschalter für Hilfsaggregat 3 | 24 | Handrad für Verstellung des Sollwertpotentiometers |
| 7 | Umschalter für Mühle 1 auf Fabriknetz A oder B | 25 | Handrad für Zentralverstellung der Sollwertpotentiometer |

Bild 5 Grundsätzlicher Aufbau der Mühlenanlage mit Drehstrom-Reihenschlußmotoren



- | | | | |
|------------|--|----|--|
| I, II, III | Motorsteuerfelder | 9 | Handrad zur zentralen Sammelsteuerung |
| IV | Zentralsteuerfeld | 10 | Wahlschalter für Fabriknetz A/B und Hilfsnetz C |
| 1 | Sollwertpotentiometer | 11 | Wahlschalter für den Betrieb der gesamten Mühlenanlage mit und ohne Staffelschaltung |
| 2 | Ein/Aus-Taster für die Mühle I | 12 | Summenstrommesser |
| 3 | Ein/Aus-Taster für Einzelbetrieb der Getriebeölumpe von Mühle I | 13 | Notataster |
| 4 | Ein/Aus-Taster für Einzelbetrieb der Lüfteranlage von Mühle I | 14 | Spannungsmesser |
| 5 | Wahlschalter für entriegelten und verriegelten Betrieb innerhalb der Mühle I | 15 | Taster für »Störmeldung Aus« |
| 6 | Strommesser für Mühle I | | |
| 7 | Störmeldetabelleau für Mühle I | | |
| 8 | Drehzahlmesser für Mühle I | | |

Bild 4 Steuerpult einer ferngesteuerten Zuckerrohr-Mühlenanlage

Das von außen verstellbare Sollwertpotentiometer dient ausschließlich zur Sammelsteuerung. Für die Einzelsteuerung ist je ein zweites Potentiometer vorhanden, das nicht von außen zu betätigen ist. Da die Einzelverstellung nur selten vorkommt und einmal eingestellte Werte durch Fehlbedienung nicht verändert werden sollen, befindet sich dieses Potentiometer im Pult und kann nur nach Abnahme der vorderen Pultabdeckplatte, die mit Reibverschlüssen befestigt ist, verstellbar werden.

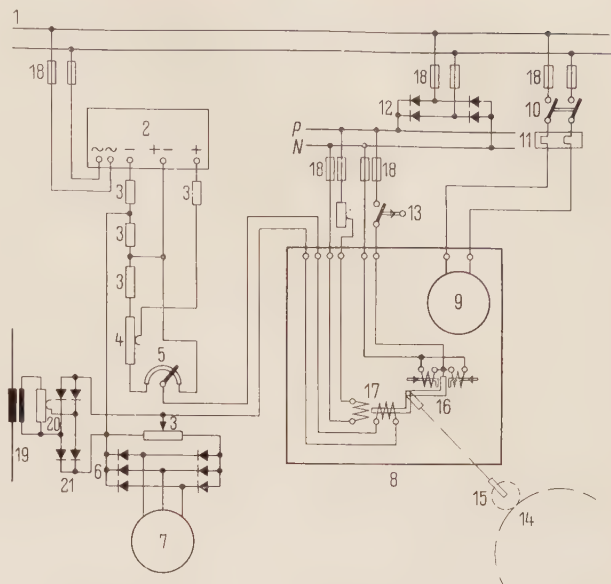
Da im Normalbetrieb zuerst die Hilfsantriebe – Reglerölumpe, Getriebeölumpe, Lüfter usw. – laufen müssen, wird durch eine selbsttätig arbeitende Staffelschaltung bewirkt,

daß der Mühlenmotor erst nach Anlauf der Hilfsantriebe an Spannung gelegt wird. Um auch jeden Hilfsantrieb getrennt einschalten zu können, sind Entriegelungsschalter vorhanden. Der Mühlenmotor kann aber zur Kontrolle auch ohne Fremdlüfter eingeschaltet werden; eine Überwachungseinrichtung sorgt auch dann für rechtzeitiges Abschalten, um eine zu große Wärmeaufnahme zu verhindern. Auch das Getriebe kann kurzzeitig ohne Hilfsölpumpe arbeiten.

Alle Mühlenmotoren der gesamten Anlage sind außerdem in einer Staffelschaltung miteinander verbunden. Soll eine Mühle außerhalb der Staffel in Betrieb genommen werden, so muß die Staffelschaltung über einen Entriegelungsschalter aufgehoben werden. Zur Sicherung der Energieerzeugungsanlage vor Überlastung können die einzelnen Mühlen nur nacheinander, aber nicht gleichzeitig in Betrieb genommen werden.

Das Steuerpult enthält gemeinsam für alle Mühlenmotoren ein Zentralfeld, auf dem die Geräte für die Summenstrommessung und die Spannungsmessung untergebracht sind. Außerdem enthält das Feld den Schalter zum Umschalten vom Betriebsnetz A auf das Betriebsnetz B oder auf ein Hilfsnetz C (s. Bild 5). Um eine einfache Zentralverstellung für alle Mühlenmotoren zu erhalten, ist auf dem Zentralfeld noch ein Handrad angeordnet, das mit den einzelnen Handrädern der verschiedenen Sollwert-Potentiometer, die zur Sammelverstellung benötigt werden, durch einen Kettenantrieb verbunden ist. Die Handräder jedes Sollwert-Potentiometers können durch Hochziehen entkuppelt werden und sind dann unabhängig von der Zentralverstellung zu betätigen oder durch Einrücken mit der Zentralverstellung zu kuppeln; damit ist eine Verstellung aller Potentiometer vom Zentralfeld aus möglich. Weil die einzelnen Potentiometer gleiche Widerstandskennlinien haben, ist bei Zentralverstellung eine gleichmäßige Drehzahlverstellung unter Beibehaltung der durch Einzeleinstellung voreingestellten Differenzdrehzahl gewährleistet.

Bei Drehstrom-Reihenschlußmotoren ist zwar die Drehrichtung durch die Verschiebungsrichtung der Bürsten bestimmt, das Motordrehfeld und die Motordrehrichtung müssen aber trotzdem gleichen Drehsinn haben. Wenn der Motor auf Rückwärtslauf geschaltet wird, müssen auch die Anschlüsse der Zuleitungen vertauscht werden. Die Zuleitungskabel sind daher über Umschalter geführt, die sich in einem Schaltschrank befinden. Um kurze Zuleitungskabel zu erhalten, wurde der Schrank in der Nähe des Mühlenmotors aufgestellt. Der Umschalter wird von Hand betätigt, kann aber auf Fernbetätigung umgebaut werden. Durch Hilfsschalter ist gewährleistet, daß beim Umschalten ein spannungsloser Zustand herrscht, weil vor dem Trennen der Umschalt-Hauptkontakte zuerst der Hauptschalter in der Schaltanlage abgeschaltet wird. Wie das Schalterpult, so ist auch der Schaltschrank staubdicht gekapselt.



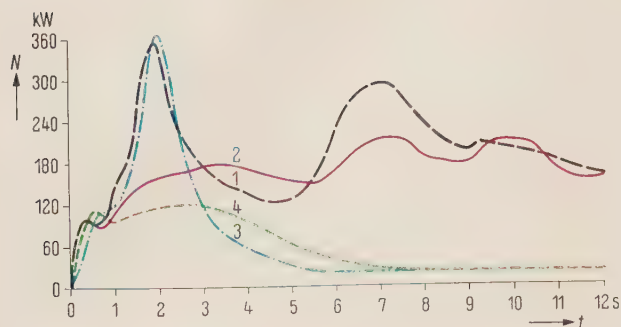
- | | |
|---|---|
| 1 Wechselspannungsnetz | 13 Endschalter am Potentiometer zur Sammelsteuerung (geschlossen, wenn Potentiometer nicht in Aus-Stellung) |
| 2 Konstantspannungsgerät | 14 Bürstenbrücke des Reihenschlußmotors |
| 3 Vor-, Abgleich- oder Belastungswiderstände | 15 Ritzel auf der Verstellwelle des Drehzahlreglers |
| 4 Potentiometer zur Einzelsteuerung | 16 Mittelstellungsmagnete |
| 5 Sollwertpotentiometer zur Sammelsteuerung | 17 Meßwerk |
| 6 Brückengleichrichter für die Tachometerspannung | 18 Sicherungen |
| 7 Tachometermaschine | 19 Stromwandler im Hauptstromkreis des Reihenschlußmotors |
| 8 Drehzahlregler | 20 Abgleichpotentiometer zur Begrenzung der stromproportionalen Gegenspannung während des Anlaufes |
| 9 Ölpumpenmotor des Drehzahlreglers | 21 Brückengleichrichter zum Gleichrichten der stromproportionalen Wechselspannung |
| 10 Motorschutz für den Ölpumpenmotor | |
| 11 Bimetallrelais für den Ölpumpenmotor | |
| 12 Brückengleichrichter | |

Bild 6 Grundsaltung eines Drehzahlreglers mit Mittelstellungsmagneten und Anlaufstrombegrenzung

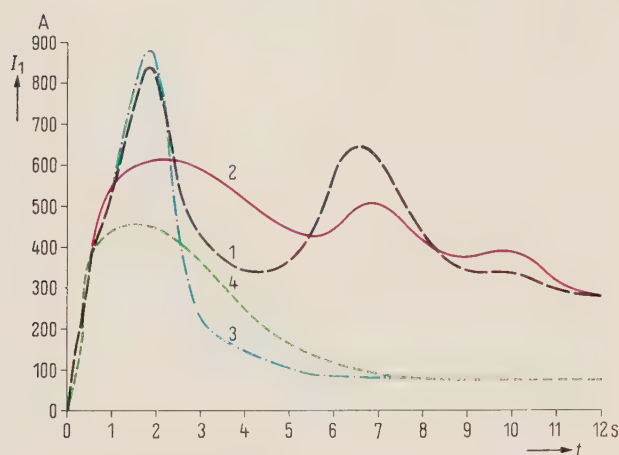
Dem Schutz der hochwertigen Mühlenmotoren und damit der Sicherheit der gesamten Anlage ist besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. Um die Mühlenmotoren vor Überlastung während des Anlaufes zu schützen, wurde eine Anlaufstrom-Überwachung entwickelt, die in Verbindung mit dem Drehzahlregler arbeitet (Bild 6).

An der Sekundärseite eines zur Strommessung eingebauten Stromwandlers wird eine dem Strom proportionale Spannung abgegriffen und über einen Brückengleichrichter in Gleichspannung umgeformt. Vor dem Gleichrichter liegt ein Abgleichpotentiometer. Die Gleichspannung liegt an einem Spannungsteiler, der dem Brückengleichrichter nachgeschaltet ist. Im normalen Betrieb wird die über den Sollwerteinsteller veränderliche Konstantspannung mit der Tachometerspannung verglichen. Wenn eine Spannungsdifferenz auftritt, regelt der Drehzahlregler die Bürstenbrücke so lange in positiver oder negativer Richtung, bis keine Differenzspannung mehr vorhanden ist.

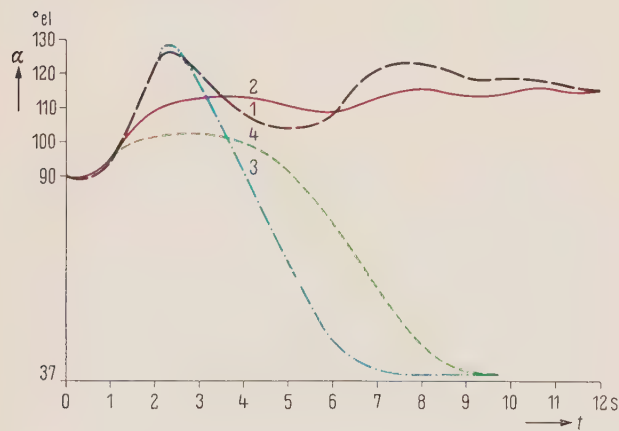
Während des Motoranlaufs steigt die Tachometerspannung von Null auf eine der eingestellten Drehzahl pro-



Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Anlaufzeit



Ständerstromaufnahme in Abhängigkeit von der Anlaufzeit



Bürstenwinkel in Abhängigkeit von der Anlaufzeit

- 1 Anlauf unter Last ohne Überwachung des Anlaufstromes
- 2 Anlauf unter Last mit Überwachung des Anlaufstromes
- 3 Anlauf bei leerer Mühle ohne Überwachung des Anlaufstromes
- 4 Anlauf bei leerer Mühle mit Überwachung des Anlaufstromes

Bild 7 Abhängigkeit verschiedener elektrischer Größen bei Last- und Leeranläufen mit und ohne Anlaufstrombegrenzung

portionale Spannung. Im Augenblick des Anlaufes würde sonst der Vergleichs-Konstantspannung noch keine Gegenspannung gegenüberstehen und der Regler die Bürstenbrücke kurzzeitig so weit hochregeln, daß u. U. der mehrfache Nennstrom auftritt.

Bei der Schaltung mit Anlaufstrom-Überwachung wird während des Anlaufvorganges die Konstantspannung mit der stromproportionalen Spannung verglichen. Die zur Reglervstellung notwendige Spannungsdifferenz ist in diesem Fall um den Wert der stromproportionalen Gegenspannung kleiner und der Ausschlag des Reglers und damit der Bürstenbrücke geringer. Das im Wandlerstromkreis liegende Abgleichpotentiometer ist so eingestellt, daß der einfache Motornennstrom nicht überschritten wird, wenn das Sollwertpotentiometer auf Stellung »Anfahren« steht. Nach dem Anlauf steigt die drehzahlproportionale Tachometerspannung und schaltet bei Erreichen des Wertes der stromproportionalen Spannung die Anlaufstrom-Überwachung selbsttätig aus. Von jetzt an ist für den Regler wieder die Spannungsdifferenz zwischen Konstantspannung und Tachometerspannung maßgebend.

Durch Verstellen des Potentiometers kann auch nachträglich noch die Strombegrenzung auf andere Werte eingestellt werden. Die Anlaufzeit, die von dem eingestellten Begrenzungswert des Anlaufstromes abhängt und bei einem Anlauf ohne Begrenzung am kürzesten ist, kann vernachlässigt werden. Sie beträgt nur wenige Sekunden und ist nicht von Bedeutung. Bild 7 zeigt die Abhängigkeit einiger Anfahrvorgänge mit und ohne Anlaufstrom-Überwachung bei Anlauf unter Last und mit leerer Mühle.

Die Anlaufdauer wird bis zur Drehzahl von 330 U/min durch ein Zeitglied überwacht; damit soll verhindert werden, daß der Mühlenmotor z. B. bei mechanischen Störungen in der Mühle im Stillstand unter Strom stehen bleibt oder längere Zeit mit unzulässig niedriger Drehzahl läuft. Ist die genannte Drehzahl vor Ablauf des Zeitgliedes erreicht, so bleibt das Zeitrelais unwirksam, im anderen Fall setzt eine Warnung ein, und die Anlage schaltet ab.

Während des Betriebes bewahrt ein zeitabhängiger Überstromschutz die Anlage vor Stromüberlastungen. Er ist auf verschiedene Strom-Zeit-Werte einzustellen und kann damit dem Betrieb gut angepaßt werden.

Bei plötzlicher Entlastung des Motors im oberen Drehzahlbereich könnte kurzzeitig eine unzulässig hohe Drehzahl auftreten. Um Störungen zu vermeiden, schaltet ein über die Tachometerspannung arbeitender Schutz den Mühlenmotor ab, wenn die synchrone Drehzahl um 10 bis 20% überschritten wird.

Weitere Schutzeinrichtungen sind in Form von Temperaturwächtern in den Motoren, Spannungsrückgang-Auslösern in den Motorschutzschaltern der Hauptzuleitungen und in Form von Strömungswächtern in der Kühlluftströmung vor jedem Motor sowie in der Kühlwasserströmung vor jedem Luftkühler vorhanden. Je nach Art der Störung werden entweder nur Warnungen oder Sofortabschaltungen vorgenommen.



Bild 8 Betriebswerte (Auszug) eines normalen Kampagne-Tages. Gesamt-Stillstandszeit während 24 Std. Betriebsdauer etwa 70 min, Fibragehalt des Rohres 12,7 bis 15,0 %, durchschnittlicher Fibragehalt 14,08 %. Bei der Ermittlung der durchschnittlichen und maximalen Motorbelastung wurde die jeweilige Motorbelastung der zulässigen Belastung bei der entsprechenden Betriebsdrehzahl gegenübergestellt

Die Zwischenumspanner sind als Trockenumspanner ausgeführt und unmittelbar neben den Motoren oder Umschalterschranken aufgestellt. Eine Schutzabdeckung schützt sie vor Tropf- und Spritzwasser.

Auf die Belüftung der Motoren wurde besonderes Augenmerk gerichtet. Die Zuführung gereinigter Kühlluft für die Kommutatoren erhöht die Betriebssicherheit und vermindert ihre Abnutzung. Da keine Möglichkeit bestand, genügend Frischluft heranzuführen, wurde für jeden

Motor ein geschlossener Luftkreislauf angeordnet, in dem ein Luftkühler eingebaut ist. Bei einer je Motor anfallenden Wärmemenge von etwa 43000 kcal/h, einer Lufteintrittstemperatur von etwa 38 °C und einer Austrittstemperatur von etwa 53 °C, einer Gesamt-Luftmenge von 10000 m³/h und bei 25 °C Wassereintritts- sowie 38 °C Wasseraustrittstemperatur wird eine Kühlmassmenge je Motor von 3,3 m³/h benötigt.

Die Möhlenmotoren wurden im Hinblick auf die Belastung und wegen der einfacheren Verlegung über mehrere parallel verlegte einadrige PROTODUR*-Kabel angeschlossen. Die Kabel wurden in abgedeckten Kabelkanälen verlegt, wobei auf eine geeignete Folge der Einleiter-Kabel zu achten war, um die gegenseitige induktive Beeinflussung gering zu halten.

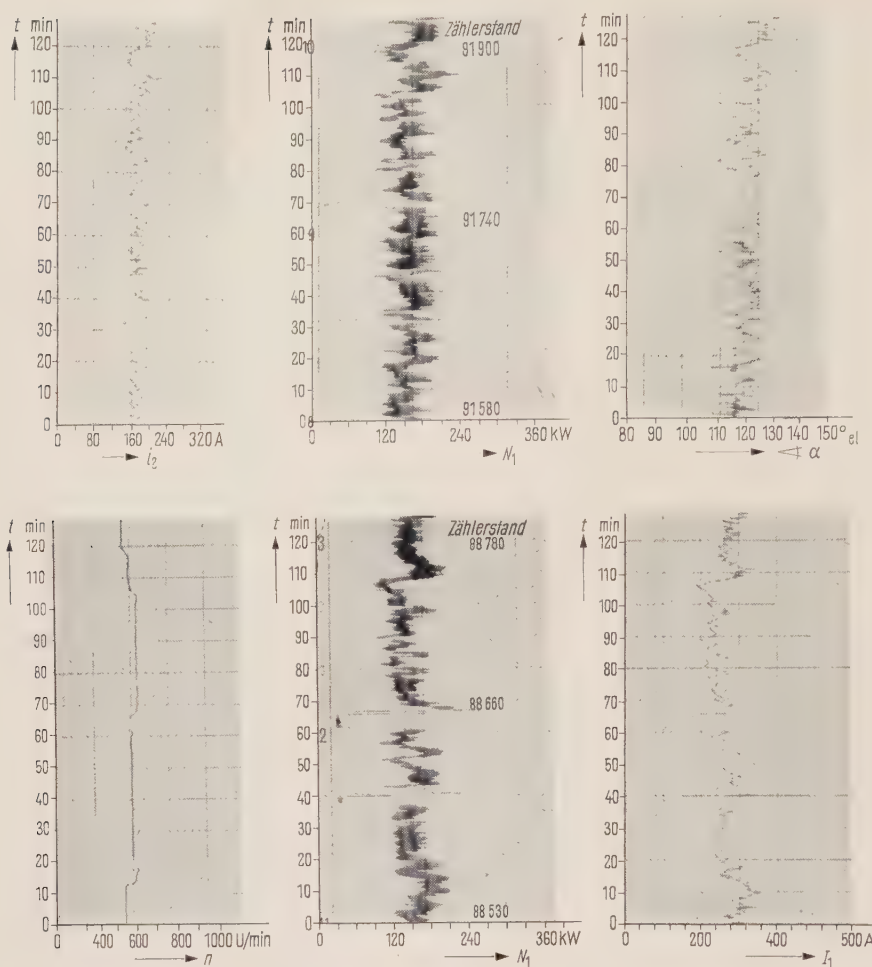
Betriebsergebnisse

Bei der beschriebenen Anlage, die vorher mit Dampfmaschinen ausgerüstet war, wurde während der ersten Umbauperiode nur eine Tandemmöhle auf Elektroantrieb umgestellt. Diese Übergangslösung brachte für den Reihenschlußmotor erschwerte Arbeitsbedingungen mit sich, da er mit zwei von Dampfmaschinen getriebenen Möhlen in Reihe arbeiten mußte. Trotzdem zeigte sich schon damals, daß der Kommutatormotor bedeutende Vorzüge hinsichtlich der Regelung, der Anpassung an die Belastung und der einfachen Betätigung hatte. Während der zweiten Umbauperiode wurden die restlichen Dampfmaschinen durch Reihenschlußmotoren ersetzt, so daß die Möhlenanlage nun vollelektrifiziert betrieben wird. Die Tagesverarbeitung konnte um etwa 30 bis 40% auf 1800 bis maximal 2000 t Zuckerrohr gesteigert werden, was einer Leistung zwischen 85 und 110 t Zuckerrohr je Stunde entspricht. Eine weitere Erhöhung ist

nicht möglich, da die mechanischen Elemente der Möhlenanlage dies nicht zulassen.

Durch Messungen wurde festgestellt, welcher Leistungsbedarf notwendig ist, um bei Ausfall eines Dampfturbosatzes in der Zentrale oder trotz stockendem Antransport des Zuckerrohres die Möhlenanlage weiter betreiben zu können; dabei wurde die Verarbeitung so weit gedrosselt, daß das Cañabett gerade noch als gut bezeichnet werden

* Eingetragenes Warenzeichen



Links: Bürstenwinkel α
Mitte: Aufgenommene Leistung N_1
Rechts: Läuferstrom i_2

Links: Drehzahl n
Mitte: Aufgenommene Leistung N_1
Rechts: Ständerstrom I_1

Bild 9 Schreibstreifen mit Betriebsmeßwerten eines 370-kW-Drehstrom-Reihenschlußmotors

konnte. Es zeigte sich, daß bei etwa 54 t/h Cañaverarbeitung und einer Drehzahl von etwa 50% der synchronen Motordrehzahl die gesamte Mühlenanlage etwa 467 kW benötigt. Umgerechnet auf 1 t Zuckerrohr ergibt das für jeden der drei in Betrieb befindlichen Mühlenmotoren 2,9 kW/t Zuckerrohr. Die Motorbelastung, bezogen auf die zulässige Belastung bei der gefahrenen Betriebsdrehzahl, betrug 71 bis 80%. Um zu ermitteln, ob die erzielten Werte wesentlich von der eingestellten Motordrehzahl abhängen, wurde ein weiterer Versuch mit höchster Motordrehzahl und etwa gleicher Verarbeitungsmenge von 59 t/h durchgeführt. Die Auswertung ergab 3,4 bis 3,7 kW/t Zuckerrohr. Die Motorbelastung betrug etwa 60%, bezogen auf die zulässige Belastung bei dieser Drehzahl.

Die Ermittlung eines Betriebspunktes bei höchster Drehzahl sollte zeigen, welche maximale Cañamenge verarbeitet werden kann. Sie betrug 126 t/h, wobei die Motoren mit etwa 95% belastet waren. Der Energieverbrauch betrug 2,5 bis 2,9 kW/t Caña.

Die Werte zeigen, daß es zweckmäßig ist, bei Verringerung der Verarbeitungsmenge die Mühldrehzahl zu

senken, um einen kleineren Energieverbrauch zu erzielen. In Bild 8 sind einige Betriebswerte zusammengestellt, die Aufschluß über die Arbeit der Mühlenanlage geben.

Ein Vergleich der Werte für die Endfeuchte und den Restzuckergehalt in der Bagasse zeigt, daß durch den Einsatz der Reihenschlußmotoren und die damit verbundene bessere Fahrweise der Mühlenanlage wesentlich günstigere Betriebswerte erzielt werden konnten als vorher. Bei bestimmten Vergleichswerten ist die Restsaccharose von 3,0 bis 4,1% auf 2,0 bis 2,9% und die Endfeuchte von 50,1% auf 47,2% gesunken.

Bild 9 zeigt einige Betriebsmeßwerte für einen 370-kW-Drehstrom-Reihenschlußmotor.

Die Zuckerrohr-Mühlenanlage wird jetzt bereits mehrere Jahre mit Drehstrom-Reihenschlußmotoren störungsfrei betrieben. Aufgrund der guten Erfahrungen, der einfachen Wartung (die sich im wesentlichen auf gelegentliches Nachsehen der Kohlebürsten erstreckt), der guten Anpassungsfähigkeit an die technologisch geforderten Arbeitsbedingungen und der wirtschaftlichen Vorteile kann festgestellt werden, daß Drehstrom-Reihenschlußmotoren besonders geeignete Mühlenantriebe sind.

ESK-Relaismischwähler für Wähl-Vermittlungsanlagen

VON EUGEN JAUCH UND GERHARD WEGMANN

Mischwähler dienen dazu, den Fernsprechverkehr auf möglichst wenige Vermittlungseinrichtungen zu konzentrieren, so daß diese gut ausgenutzt werden. Damit die Zeit zwischen zwei Wahlserien vornehmlich für Empfang und Verarbeitung der Wählinformationen zur Verfügung steht, müssen Mischwahlstufen sehr schnell durchschalten. Besonders wegen seiner äußerst kurzen Schaltzeit (etwa 2 ms), aber auch wegen seiner Freizügigkeit beim Aufbau von Koppelfeldern (fünfteilige Relaisstreifen) sowie seiner hohen Betriebsgüte (Doppelkontakte aus Edelmetall und praktisch prellfreies Schalten) eignet sich das Edelmetall-Schnellkontakt-Relais (ESK) sehr gut für den Aufbau von Relaismischwählern¹⁾. Um ein günstiges Verhältnis zwischen den Kosten für die Steuerung und den Kosten für das zu steuernde Koppelfeld zu finden, wurden umfangreiche Untersuchungen u. a. mit Hilfe der Siemens-Datenverarbeitungsanlage 2002 durchgeführt. Das Ergebnis war für Verhältnisse, wie sie hinter Gruppen- und Leitungswahlstufen bestehen, ein ESK-Relaismischwähler mit sechs Ausgängen. Eine zweite Mischwählerausführung mit 20 Ausgängen wird benötigt, um den Fernsprechverkehr aus räumlich weitauseinandergelegenen Wahlstufen auf ein gemeinsames Bündel zu führen.

Mischwähler mit sechs Ausgängen

Relaismischwähler mit der Erreichbarkeit $k = 6$ arbeiten mit »Abschaltesteuerung« und werden meistens in »Sparschaltung« verwendet. Die Abschaltesteuerung ist eine gesteuerte, rückwärtige Sperrung, die das Aufprüfen von Wählern der vorgeordneten Wahlstufe (Gruppenwähler, Leitungswähler) auf solche Mischwähler verhindert, die zum Zeitpunkt des Absuchens keinen freien Ausgang haben. Das Belegen eines Mischwählers hängt also vom Vorhandensein eines freien Mischwähler-Ausganges ab.

Unter Sparschaltung versteht man eine Anordnung mit Mischwählern, bei der an die zuerst abgesuchten gut ausgenutzten Wählerausgänge keine Mischwähler, sondern unmittelbar Abnehmerleitungen angeschlossen sind (z.B.

in Bild 1a die Abnehmerleitungen an den Schritten 1 bis 3). Dadurch werden Mischwähler eingespart, weil ein wesentlicher Teil des Verkehrs bereits über die unmittelbar angeschlossenen Abnehmerleitungen fließt. Bei Sparschaltung ohne Rückmischung (Überlaufmischung) werden die direkt erreichten Abnehmerleitungen von den Mischwählern nicht nochmals abgesucht (Bild 1a); bei Sparschaltung mit Rückmischung wird der über die Mischwähler geführte »Spitzenverkehr« in alle (volle Rückmischung) oder auch nur in einen Teil (teilweise durchgeführte Rückmischung) der direkt angeschlossenen Leitungen »eingemischt« (Bild 1b).

Um die Leistungsfähigkeit von Koppelanordnungen beurteilen zu können, bei denen der Verkehr über zwei Stufen zusammengefaßt wird (hier vorgeordnete Gruppenwahlstufe und Mischwahlstufe mit Abschaltesteuerung), verwendet man den Begriff »effektive Erreichbarkeit« k_{eff} . Diese ist definiert²⁾ als Erreichbarkeit einer einstufigen Koppelanordnung, die der Mischwähler-Anordnung mit Abschaltesteuerung in ihrem Verkehrsverhalten gleichwertig ist, d. h., bei gleichem Angebot und gleicher Leitungszahl wird das Abnehmerbündel von beiden Anordnungen mit dem gleichen Verlust betrieben.

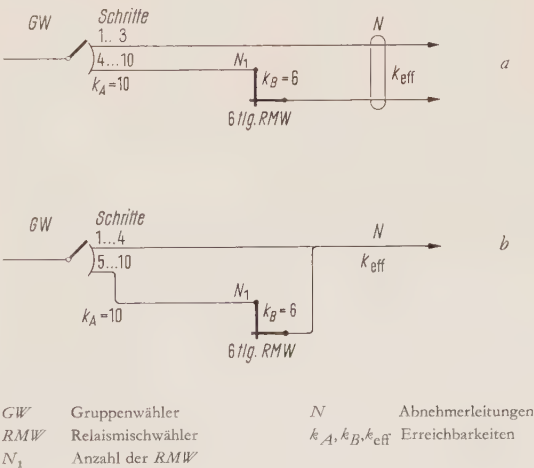


Bild 1 ESK-Relaismischwähler-Anordnung mit Sparschaltung

a ohne Rückmischung (Überlaufmischung)
b mit voller Rückmischung

1) Villmann, W. und Vogel, H.: Weitere Anwendungsbeispiele für Edelmetall-Schnellrelais. Siemens-Zeitschrift 33 (1959) 338 bis 340
2) Bininda, N. und Wendt, A.: Die effektive Erreichbarkeit für Abnehmerbündel hinter Zwischenleitungsanordnungen. Nachrichtentechn. Z. 12 (1959) 579 bis 585; Nachtrag zu dieser Arbeit: Nachrichtentechn. Z. 14 (1961) 40

Mit Hilfe von Mischwählern kann also die an den Ausgängen der vorgeordneten Wahlstufe verfügbare Erreichbarkeit auf eine effektive Erreichbarkeit erhöht werden, und zwar individuell in jeder beliebigen Richtung (vgl. Bilder 1 und 2). Die Anzahl der einzusetzenden Mischwähler wird angegeben als Produkt aus der Anzahl der Abnehmerleitungen und einem Faktor, der von der gewünschten effektiven Erreichbarkeit der Anordnung, von der Größe des Verkehrs, der Art der Sparschaltung, der an den Ausgängen der vorgeordneten Wahlstufe herrschenden Erreichbarkeit und vom Mischungsverhältnis abhängt.

Mischwähler mit 20 Ausgängen

Bei größeren Entfernungen zwischen Mischwahlstufe und vorgeordneter Gruppenwahlstufe kann es zweckmäßig sein, Mischwähler ohne Abschaltsteuerung zu verwenden. Diese arbeiten dann als zusätzliche Freiwahlstufe mit einem vorgegebenen Planungsverlust. So

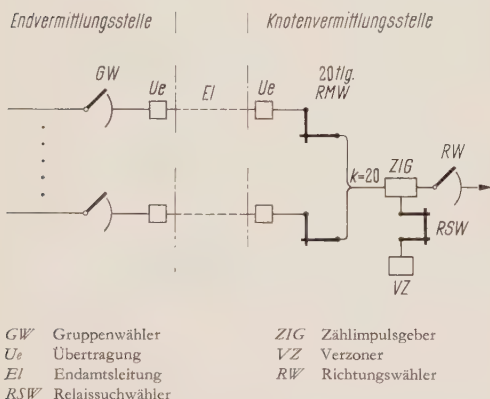


Bild 2 ESK-Relaismischwähler-Anordnung ohne Sparschaltung: Zusammenfassung mehrerer Leitungen der Endvermittlungsstelle in der Knotenvermittlungsstelle

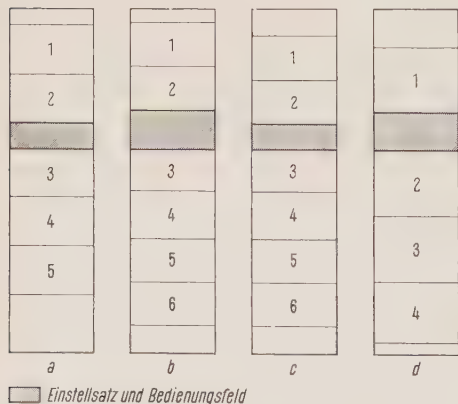


Bild 3 Gestellrahmen mit 1 bis 6 ESK-Relaismischwähler-Rahmen:
Zweidraht-Mischwähler mit a 20 Eingängen und 6 Ausgängen
b 10 Eingängen und 20 Ausgängen
Vierdraht-Mischwähler mit c 10 Eingängen und 6 Ausgängen
d 10 Eingängen und 20 Ausgängen



Bild 4 Zweidraht-ESK-Relaismischwähler mit 20 Ausgängen während des Aufbaus in einer Zentralvermittlungsstelle

nimmt man Relaismischwähler mit 20 Ausgängen für das Zusammenfassen mehrerer Bündel von verschiedenen Endvermittlungsstellen zu einem Bündel in der Knotenvermittlung, um die Anzahl der nachfolgenden hochwertigen Schaltglieder, wie Zählimpulsgeber und Richtungswähler, zu vermindern (Bild 2). Mit Relaismischwählern der Erreichbarkeit $k = 20$ wird bei derartigen Anordnungen ein Bündelungsgewinn und die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Abnehmerleitungen (höhere Erreichbarkeit) auf wirtschaftlich günstige Weise erzielt.

Aufbau und Schaltung der ESK-Relaismischwähler

Die kurze Schaltzeit der ESK-Relais bietet die wirtschaftliche Möglichkeit, einen Teil der Mischwähler-Steuerung in einem Einstellsatz zusammenzufassen. Aus der kurzen Belegungszeit des Einstellsatzes ergibt sich die Anzahl der Mischwähler, die von einem Einstellsatz gesteuert werden können, ohne daß im Betrieb Verluste auftreten. So sieht eine der schaltungstechnischen Lösungen vor, eine größere Anzahl von Relaismischwählern über Gruppenrelais zusammenzufassen und an einen gemeinsamen Einstellsatz zu schalten.

Als Koppelrelais enthalten die beschriebenen Mischwähler ESK-Relais; zum Einleiten und Halten der Verbindungen sind ESK-Relais und Doppelrelais herkömmlicher Bauart vorgesehen. Dadurch ist es möglich geworden,

die Grundschialtung konstruktiv zweckmäßig zusammenzufassen und den Relaismischwähler individuell für 6 oder 20 Ausgänge sowohl für Zweidraht- als auch für Vierdrahtwege auszuführen.

Mischwählerrahmen

Die ESK-Relaismischwähler sind konstruktiv zu Koppelvielfachen zusammengefaßt. Bei den Zweidraht-Relaismischwählern bilden maximal fünf Rahmen mit je 20 Eingängen und je 6 Ausgängen, also 100 ESK-Mischwähler (Bild 3a), oder auch maximal sechs Rahmen mit je 10 Eingängen und je 20 Ausgängen, also 60 ESK-Mischwähler (Bild 3b), einen Gestellrahmen. Bei den Vierdraht-Relaismischwählern sind in einem Gestellrahmen entweder maximal sechs Rahmen mit je 10 Eingängen und je 6 Ausgängen untergebracht, also 60 ESK-Mischwähler (Bild 3c), oder maximal vier Rahmen mit je 10 Eingängen und je 20 Ausgängen, also 40 ESK-Mischwähler (Bild 3d). Die Bilder 4 bis 6 zeigen die praktische Ausführung verschiedener ESK-Relaismischwähler.

Arbeitsweise

Jeder Einstellsatz steuert je nach Gestellausführung 20 bis 50 ESK-Relaismischwähler, die bei der Belegung

über Gruppenrelais kurzzeitig mit den Einstellsätzen verbunden werden. Den Gruppenrelais kann im Bedarfsfall ein hochohmiges Abschalterelais zugeordnet werden, das die Ausgangs- c -Adern überwacht. Dieses Relais ist über einen je c -Ader vorgesehenen Gleichrichter solange erregt, bis alle c -Adern belegt sind (s. Bild 7). Durch das Öffnen der Kontakte des Abschalterelais G werden die Eingänge der Mischwähler, die derselben Gruppe zugeordnet sind, d. h. auf die gleichen Ausgänge arbeiten, gesperrt (Abschaltesteuerung).

Das Belegen eines freien Relaismischwählers RMW – bei Abschaltesteuerung eines freien Ausganges – über die Eingangs- c -Adern bewirkt ein Ansprechen des X -Relais, das das Kontrollrelais K an den Einstellsatz ES schaltet (Bild 7). Ist der Einstellsatz frei, so sprechen das K -Relais und durch dieses in Reihe mit den Gruppenrelais H das Z -Relais im Einstellsatz an. Mit den Kontakten der H -Relais werden die Ausgangs- c -Adern der betreffenden Gruppe vorbereitend an die Prüfrelais des Einstellsatzes geschaltet, während das Z -Relais mit seinen Kontakten die Belegung des Einstellsatzes kennzeichnet. Es kann somit kein zweites K -Relais ansprechen. Durch das Z -Relais werden außerdem die Prüfrelais P_1 bis P_n an die Ausgangs- c -Adern gelegt. Das erste über eine freie

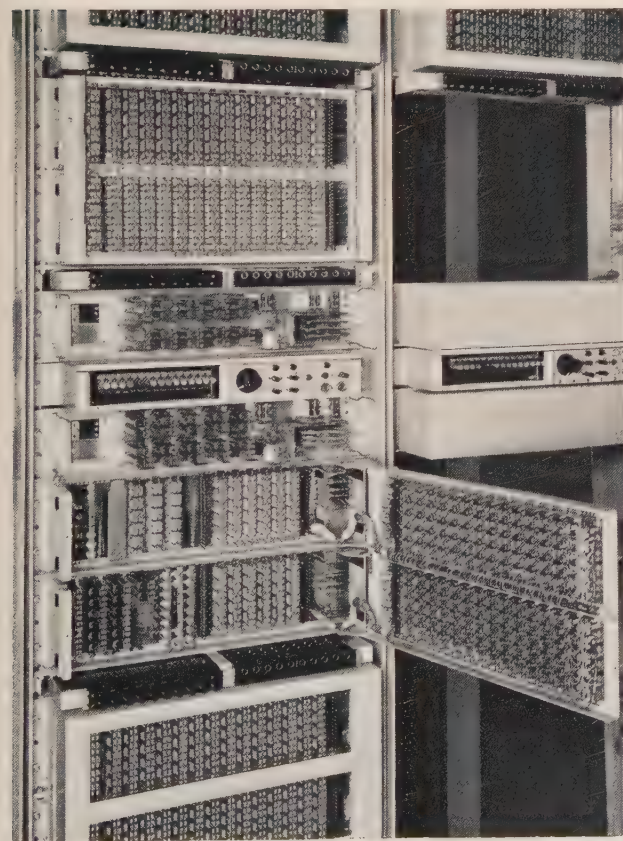


Bild 5 Zweidraht-ESK-Relaismischwähler mit 20 Ausgängen; Einstellsatz und vordere Schwenkrahmen geöffnet

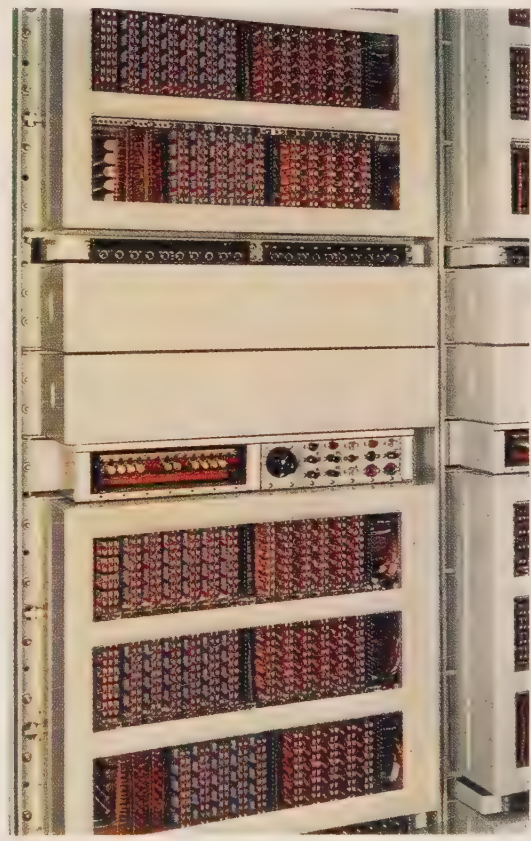


Bild 6 Vierdraht-ESK-Relaismischwähler mit 20 Ausgängen

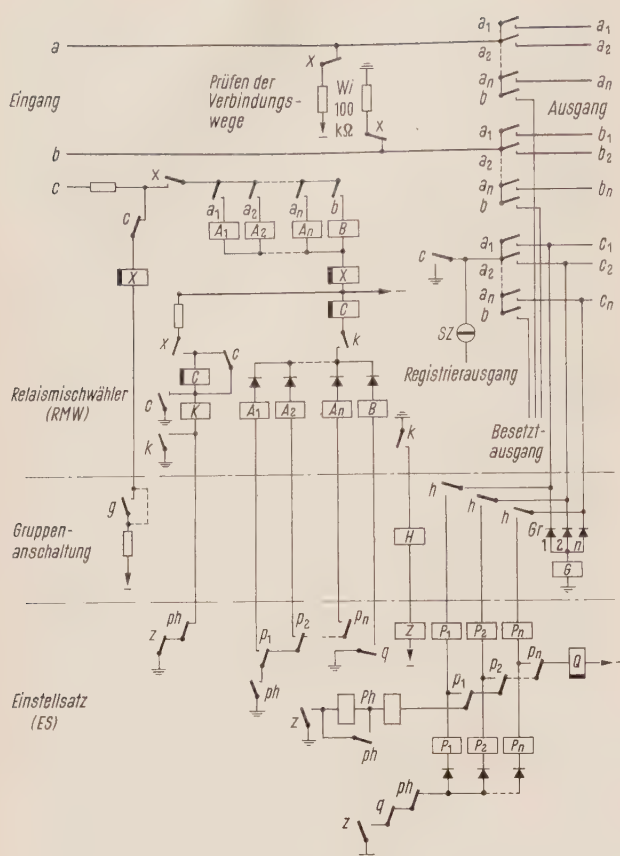


Bild 7 Vereinfachter Stromlaufplan des ESK-Relaismischwählers mit Gruppenschaltung und Einstellsatz (vgl. Text)

c -Ader ansprechende P -Relais trennt die übrigen P -Relais ab und legt das Ph -Relais zur Sperrung und Nachprüfung an die frei vorgefundene c -Ader. Gleichzeitig ist damit dasjenige ESK-Relais (A_1 bis A_n) im Relaismischwähler bestimmt, das nach Ansprechen des Ph -Relais in Reihe mit dem C -Relais erregt wird, den vom Einstellsatz belegten c -Eingang übernimmt und die a/b -Adern durchschaltet.

Eines der ESK-Relais A_1 bis A_n und das X -Relais werden – in Reihe geschaltet – in der Eingangs- c -Ader gehalten, während das C -Relais unabhängig davon erregt bleibt. Nach Ansprechen des C -Relais wird das K -Relais stromlos und nach dessen Abfallen der Einstellsatz wie-

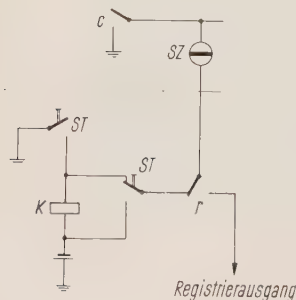


Bild 8 Schaltung des Schanzeichens für Belegungskennzeichnung und Registrierung (vgl. Text)

der frei. Bei Verbindungen, die über einen Relaismischwähler nicht durchgeschaltet werden können, wird anstelle eines die a/b -Adern durchschaltenden A_1 - bis A_n -Relais das Besetztrelais B erregt, das über seine Kontakte den Besetztton anschaltet.

Mit Hilfe der schnellarbeitenden ESK-Relais laufen die beschriebenen Vorgänge in kürzester Zeit ab. Die Durchschaltzeit einer Verbindung über ESK-Relaismischwähler – also die Zeit vom Belegen des Mischwählers über das Anfordern des Einstellsatzes bis zum Ansprechen des A -Relais – beträgt nur 35 bis 40 ms; der Einstellsatz wird für eine Durchschaltung 40 bis 50 ms benötigt. Dank dieser kurzzeitigen Inanspruchnahme des Einstellsatzes wäre es möglich, ohne Verkehrseinschränkung eine weit größere Anzahl von Mischwählern (etwa 200) durch einen Einstellsatz zu steuern. Aus aufbautechnischen Gründen und zur Erhöhung der Betriebssicherheit sind jedoch zwei Einstellsätze je Gestellrahmen, also für 40 bis 100 Relaismischwähler, vorgesehen.

Ein Prüfen der Verbindungswege ist bei Relaismischwählern ebenso wie bei anderen Schaltgliedern im Ruhezustand möglich. Hierzu werden über hochohmige Widerstände Potentiale an die Sprechadern gelegt (Bild 7). Da die Mischwähler in Zweidraht- oder Vierdrahtwege eingefügt sind, kann das Prüfen der Verbindungswege wie bei den übrigen Schaltgliedern durchgeführt werden. Ebenso lassen sich mit den üblichen Handprüfgeräten in Verbindung mit der Signalschaltung die einzelnen $a/b/c$ -Ausgänge gezielt prüfen.

Für Verkehrsmessungen werden die Schaltglieder im allgemeinen mit einem Registrierwiderstand von 2000 Ω versehen; dazu kommt noch die optische Belegungsanzeige mit einer Fernsprech-Glühlampe. In der Relaismischwähler-Schaltung ist abweichend hiervon ein 2000- Ω -Schanzeichen SZ vorgesehen, das sowohl den Registrierwiderstand als auch das optische Belegungskennzeichen in sich vereinigt (Bild 8). Dabei ist das zeitweise Anschalten des Schanzeichens mit der Schanzeichen-Taste ST oder das Umschalten auf Registrierung in gleicher Weise möglich wie bei Fernsprech-Glühlampen und Registrierwiderständen.

Mischwähler für Großsammelanschlüsse dienen der Erhöhung der Erreichbarkeit hinter Leitungswählern; sie haben sechs Ausgänge, unterscheiden sich jedoch schaltungstechnisch von den sechsteiligen Mischwählern hinter Gruppenwählern, da sie andere betriebliche Forderungen zu erfüllen haben. So ist es mit Rücksicht auf das »Sammelanschlußdrehen« der verschiedenen Leitungswähler nötig, die c -Ader schon im Ruhezustand über die Mischwähler zu einer freien Amtsleitung der Nebstellenanlage durchzuschalten. Andere Aufprüfverhältnisse und die meistens kleine Mischwählerzahl je Abnehmerbündel führen bei Mischwählern hinter Leitungswählern dazu, daß man die Prüferelais nicht in einem Einstellsatz zusammenfaßt, sondern einer Gruppe von Mischwählern fest zuordnet.

Induktive Trocknung umhüllter Schweißelektroden

VON ROLF ESCHÉ UND WERNER VON HACHT

Ummantelte Schweißelektroden werden im allgemeinen nach folgendem Plan gefertigt (Bild 1):

Das Ausgangsmaterial (Draht, Umhüllungsmasse und Bindemittel) wird nach verschiedenen Bearbeitungsvorgängen (Ziehen, Richten und Schneiden des Drahtes, Abwiegen der Masse, Mischen und Brikkettieren der mit Bindemittel versetzten Masse) der Elektrodenpresse zugeführt. Nach dem Pressen wird die ummantelte Elektrode auf Exzentrizität geprüft und das Zangenende freigebürstet*. Hierauf folgt das Trocknen der Umhüllungsmasse. Schließlich werden die Elektroden am Zündende geschliffen und dann sortiert und verpackt.

Die Elektrodenarten unterscheiden sich in den Abmessungen, dem Material von Draht und Umhüllung, dem Bindemittel, in der Körnung der Umhüllung usw. Die gebräuchlichsten Kerndrahtabmessungen betragen zwischen 250 und 450 mm Länge und 2 bis 6 mm Durchmesser. Die Umhüllungsstärke ist in vier Gruppen unterteilt:

- dünne Umhüllungen von weniger als 20% des Kerndurchmessers,
- mitteldicke Umhüllungen von 20 bis 40% des Kerndurchmessers,
- dicke Umhüllungen von mehr als 40% des Kerndurchmessers und
- besonders dicke Umhüllungen.

In vielen Betrieben gilt die Hauptfertigung den dick umhüllten Elektroden.

Die Umhüllung der frisch gepreßten Elektroden enthält 8 bis 16% Wasser. Beim Austreiben der Feuchte von z. B. 12 auf 10% erfährt die Umhüllung den Hauptteil ihrer Schrumpfung. Während dieser Anfangstrocknung neigt die Umhüllung zu Schrumpfrissen. Diese Rißanfälligkeit hängt von vielen Faktoren ab und ist von Rezeptur zu Rezeptur verschieden. Es ist nicht generell zu entscheiden, welche Bedingungen für die Rißanfälligkeit ausschlaggebend sind. Fest steht jedoch, daß die Zusammensetzung des Bindemittels, die Korngröße und Korngrößenverteilung sowie die Feuchte der umgebenden Luft und die Trocknungsgeschwindigkeit von Einfluß sind.

Durch die Rißanfälligkeit wird die erforderliche Trocknungszeit bestimmt. Unter Vortrocknung versteht man die Austreibung der Anfangsfeuchte von z. B. 10 bis 16% auf 3 bis 7%. Der Grad der Nachtrocknung von 3 bis 7% auf 0,5 bis 0,05% richtet sich nach den Anforderungen, die schweißtechnisch an die Elektroden gestellt werden. Im allgemeinen liegen die Endtemperaturen zwischen 120 und 250 °C. Kalkbasierte Typen benötigen wegen der erforderlichen geringen Restfeuchte Endtemperaturen von 350 bis 500 °C.

Der Ausstoß üblicher Elektrodenpressen beträgt 800 bis 1200 Stück je Minute. Die tatsächlichen Produktionszahlen je Presse sind jedoch sehr oft niedriger, da die meisten Pressen eine Pausenzeit zum Nachfüllen der Umhüllungsmasse benötigen. Je nach dem Volumen des Pressenzylinders (im allgemeinen bis zu 100 l) und nach der Beschickungsart beträgt in der Praxis das Verhältnis von Pressenzeit zu Pausenzeit 1:1 bis 5:1. Um die

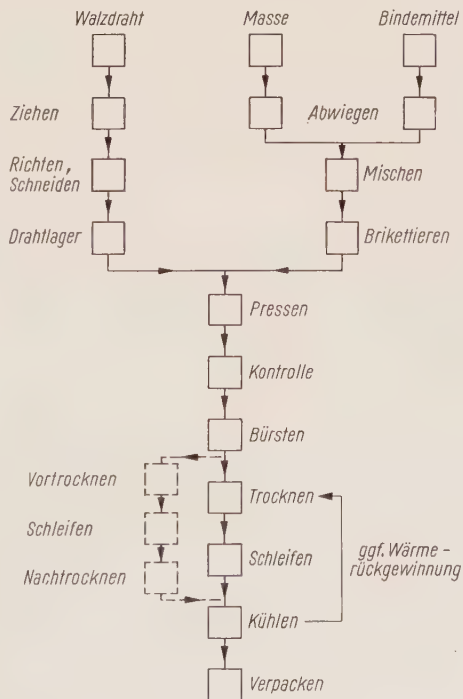


Bild 1 Fertigungsablauf beim Herstellen von Schweißelektroden

* Manche Elektroden werden am Zangenende nicht nach dem Pressen gebürstet, sondern nach dem Vortrocknen geschliffen.

Pausenzeiten auszugleichen, kann man mehrere Pressen wechselweise auf einer Straße arbeiten lassen.

Die Leistung der Trocknungsanlagen muß für das maximale Ausstoßgewicht bei der maximalen Endtemperatur ohne Berücksichtigung der Pausenzeiten ausgelegt werden, sofern die Trocknungszeit in der Größenordnung der Pressenaktzeit liegt. In vielen Elektrodenfabriken wird z. Z. noch folgendermaßen getrocknet:

Nach dem Pressen (und nach dem Bürsten der Zangenenden) werden die vom Band kommenden Elektroden auf Rahmen (Horden) gelegt und gestapelt. Sie werden meistens in Luft vorgetrocknet, wobei notfalls, z. B. bei empfindlichen Umhüllungsmassen, der Raum klimatisiert wird (Steuerung der Luftfeuchte und Raumtemperatur). Nach der Vortrocknung, die einige Stunden, aber auch einige Tage dauern kann, folgt gegebenenfalls eine Nachtrocknung im Ofen, in den die Stapel eingefahren werden. Die Verweilzeit im Ofen beträgt eine halbe Stunde bis zu einigen Stunden.

Anschließend müssen die Stapel abgekühlt werden. Danach werden die Elektroden von den Horden genommen und verpackt.

Diese heute noch gebräuchliche Art der Trocknung bedeutet eine Unterbrechung des kontinuierlichen Fertigungsablaufs. Das Legen der Elektroden auf Stapel, das Bestücken des NachtrocknungsOfens mit Hordenstapeln, das Abnehmen vom Stapel und Verpacken der Elektroden erfordern viele Arbeitskräfte. Schließlich ist wegen der langen Trocknungszeit der Raumbedarf für die Hordenstapel erheblich.

Diese Nachteile beruhen auf dem Prinzip des diskontinuierlichen Transportes. Allerdings hat diese Transportart den Vorteil der größeren Anpassungsfähigkeit an verschiedene Fertigungsprogramme, z. B. bei Wechsel der Elektrodenart.

Dagegen bietet eine kontinuierliche Trocknung folgende Vorteile:

Der maschinelle Transportablauf erfordert wenig Betriebspersonal.

Die Trocknungsbedingungen verändern sich nicht, dadurch bleibt die Qualität des Produktes gleichmäßig. Bei geschickter Ausbildung des Transportsystems ist die Anordnung raumsparend.

Die vollautomatische kontinuierliche Trocknung hat sich z. B. in den USA, aber auch in Europa längst bewährt. Sie ist technisch um so leichter durchführbar, je weniger Typen mit unterschiedlichen Abmessungen auf einer Straße gefertigt werden sollen.

Am günstigsten ist also die Trocknung einer einzigen Elektrodenart auf einer Straße von einigen 100 m Länge, wie man es in amerikanischen Elektrodenfabriken finden kann.

Es ist jedoch auch möglich, trotz kurzer Baulänge des Transportsystems lange Trocknungszeiten zu erreichen,

wobei die Trocknung zwar kontinuierlich durchgeführt wird, der Transport aber z. T. »halbkontinuierlich« abläuft.

Entscheidend für die Funktion eines TrockenOfens ist das Heizsystem, bei dem drei Merkmale für die Brauchbarkeit von besonderer Bedeutung sind:

Betriebskosten

Anpaßbarkeit oder Regelbarkeit

Art der Wärmeeinströmung in die Umhüllung

Die automatische Trocknung setzt stets einen DurchlaufOfen voraus. Grundsätzliche Unterschiede ergeben sich durch die Art des Transportes. An die Transporteinrichtung werden vor allem drei technische Forderungen gestellt:

geringe Störanfälligkeit

schonende Behandlung der Elektrodenoberfläche

geringe Baulänge

Unter diesen Gesichtspunkten sollen die wichtigsten Förderarten untersucht werden.

Förderarten

Waagerechte Bandförderung der Elektroden in einer Ebene

Bei waagerechter Bandförderung in einer Ebene liegen die Elektroden (so wie sie normalerweise von der Presse kommen) nebeneinander auf Bändern und werden in der gleichen Art durch den langgestreckten einetagigen Ofen gefördert.

Solche Anlagen arbeiten ohne großen technischen Aufwand betriebssicher. Je nach Art der Bänder können sich geringfügige Abdrücke auf der Elektrodenoberfläche ergeben. Nachteilig wirkt sich besonders bei schwer zu trocknenden Elektroden die große Baulänge solcher Ofen aus.

Waagerechte Förderung in mehreren Ebenen

Bei waagerechter Förderung in mehreren Ebenen durchlaufen die Elektroden den Ofen in mehreren Etagen. Je größer die Anzahl der übereinanderliegenden Behand-

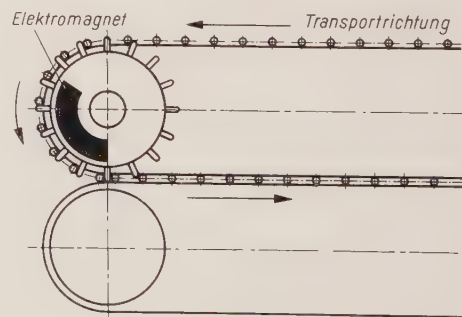


Bild 2 Umlenkstation bei mehretagigen Transportvorrichtungen zum Trocknen von Schweißelektroden. Umlenkung mit Elektromagnet

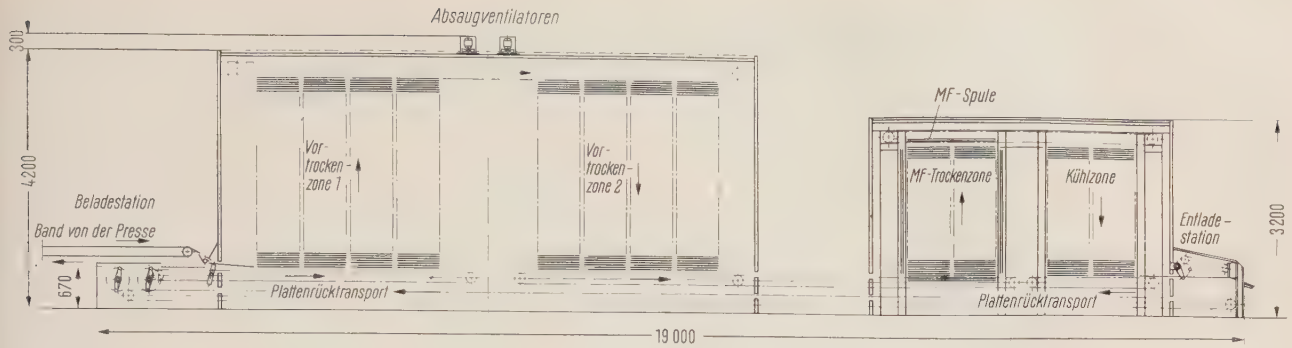


Bild 3 Induktionsanlage mit Etagenschrank (System Nisterhammer) zum Trocknen von Schweißelektroden

lungsebenen bei gegebener Trockenzeit ist, desto kürzer wird die Baulänge der Einrichtung.

Wenn solche Anlagen betriebssicher arbeiten sollen, ist ein gewisser technischer Aufwand für die Übergabestellen von einer Etage auf die andere erforderlich.

Im Anfangsstadium der Trocknung besteht die Gefahr, daß die Oberfläche beschädigt wird. Deshalb ist für die Übergangsstation eine freie Förderung, z. B. durch Magnetrollen, zweckmäßiger als eine zwangsläufige Umleitung (s. Bild 2).

Waagerechte Förderung mit Übergabe auf Rahmen und Trocknung in einem Etagenschrank

Bei diesem Verfahren werden die Elektroden vom waagerechten Transportband automatisch auf Rahmen gelegt, in den Ofen eingefahren und in einem Paternosterstapel zunächst im ersten Ofenteil schrittweise nach oben und anschließend im zweiten Ofenteil in der gleichen Weise nach unten transportiert. Die Rahmen werden selbsttätig entleert, z. B. auf ein waagerechtes Transportband. Die Rahmen verlassen die Anlage nicht, sondern werden automatisch zum Beladen zurückgeführt. Dieses Verfahren ermöglicht wegen des geringen Abstandes der aufeinanderliegenden Rahmen sehr große Trocknungszeiten bei geringer Baulänge. Es lassen sich z. B. »Bandlängen« von 600 m in einem Etagenschrank von 19 m Länge unterbringen (Bild 3).

Die Station für automatische Beschickung ist so ausgebildet, daß hier die Elektrodenoberfläche nicht beschädigt wird. Im Etagenschrank können wegen der hohen erzielbaren Trockenzeiten und wegen der günstigen Einteilung in verschiedene Trockenzeiten nahezu alle Elektrodentypen rißfrei getrocknet werden.

Senkrechte Förderung mit Magnet- oder Klammerkettten

Bei senkrechter Förderung kommen die Elektroden von einem waagerechten Transportband und werden auf eine zweite Fördereinrichtung übergeben, die sie, am Zangenende hängend, meistens zickzackförmig durch den

Trockenkanal bewegt. Die Baulänge solcher Öfen ist verhältnismäßig kurz und entspricht etwa einem Mehretagenofen für waagerechte Förderung in mehreren Ebenen. Der besondere Vorzug der senkrechten Förderung besteht in der schonenden Behandlung der Elektroden, die während des ganzen Trockenvorgangs frei hängen.

Beim Versagen der Aufhängevorrichtung (z. B. Altern der Magnete bei hohen Temperaturen) ist das Transportsystem nicht unmittelbar gefährdet. Die Überführung der Elektroden von der Waagerechten in die Senkrechte und umgekehrt ist allerdings mit technischem Aufwand verbunden.

Konventionelle Trocknung

Das Trocknen der mit den geschilderten Fördersystemen kontinuierlich transportierten Schweißelektroden geschieht häufig mit Konvektions- und Strahlungsöfen oder aber mit Luftumwälzöfen. Diese Öfen können mit Gas oder Öl oder elektrisch beheizt werden. Die Klimatisierung der Anfangstrockenzone ist oft entscheidend für rißfreie Trocknung, zumal die zur Verfügung stehende Trockenzeit beschränkt ist.

Die Anschaffungskosten derartiger Öfen sind hoch, die Betriebskosten jedoch gering. Für Elektroden, die zur Endtrocknung hohe Temperatur benötigen (z. B. kalkbasierte Elektroden), ist zur Erzielung guter Wirkungsgrade ein erheblicher Aufwand an Wärmeisolation nötig.

Infolge der Pausenzeit zum Nachfüllen der Umhüllungsmasse in die Presse ist der Durchlaufofen nicht ständig gefüllt; trotzdem muß der Ofen dauernd beheizt werden. Je länger die verfügbare Trockenzeit bei der Durchlauf-trocknung ist, um so weniger muß die Temperatur- und Klimasteuerung (besonders bei der Anfangstrocknung) differenziert werden. Deshalb ist das erwähnte Fördersystem im Etagenschrank trocknungstechnisch das sicherste Verfahren zur Austreibung der Anfangsfeuchte.

Im Gegensatz zur Anfangstrocknung kann die Wärmezufuhr bei der Schlußtrocknung (unterhalb 5% Feuchte) wesentlich größer sein, ohne daß sich Risse in der Umhüllung bilden. Die Trocknungsgeschwindigkeit ist hier-

bei weniger durch die Rißanfälligkeit begrenzt als vielmehr durch die Art der Wärmezufuhr oder die des Wasserentzuges. Bei jeder Trocknung durch Wärmezufuhr von außen muß das in der Umhüllung enthaltene Wasser gegen die Wärmeeinströmung, die von außen nach innen verläuft, durch Diffusion ausdampfen. Es ist verständlich, daß eine erhebliche Beschleunigung der Trocknung erreicht werden kann, wenn die Wärme im Innern der Elektrode erzeugt und das in der Umhüllung enthaltene Wasser mit dem Wärmestrom ausgetrieben wird. Die Wirkung dieser Aufheizart kann durch gleichzeitige »Wasserabsaugung« nach außen mit Umluft unterstützt werden.

Induktive Trocknung

Bei der induktiven Trocknung werden an der Oberfläche des Kerndrahtes durch magnetische Wechselfelder (Mittelfrequenz) Ströme erzeugt, die den Kerndraht erwärmen. Die Energie wird im Kerndraht durch Spulen induziert, die so angeordnet sind, daß das magnetische Wechselfeld in Richtung der Kerndrahtachse liegt.

Die induzierte Energiedichte ist gering (kleiner als 40 W/cm^2), so daß die an der Kerndrahtoberfläche zugeführte Energie durch Wärmeleitung in das Innere des Drahtes abfließen kann. Es kommt nicht zum Wärmestau an der Drahtoberfläche. Daher wird der Draht praktisch über seinen ganzen Querschnitt gleichmäßig erwärmt. Vom Kerndraht fließt die Wärme in die Umhüllung und nach außen ab. Bei der induktiven Erwärmung von magnetischem Material mit geringen Leistungsdichten

läßt sich auch bei verhältnismäßig großen Kopplungsabständen zwischen den Spulenwindungen und den Elektroden ein guter Spulenwirkungsgrad erreichen (etwa 85%). Die Wärmezufuhr durch induktive Beheizung kann trägheitsarm gesteuert werden, was die Einstellung eines Temperatur-Zeit-Programmes erleichtert.

Die induktive Erwärmung ist grundsätzlich für alle vorkommenden Förderarten geeignet. Sie wurde bisher bei dem ein- und mehretagigen waagerechten Bandfördersystem eingesetzt (Bilder 4 und 5). Mit Rücksicht auf hohe Temperaturen, die z. B. bei der Trocknung von kalkbasischen Elektroden bis 500°C betragen können, werden meistens Bänder aus Spezialstahl verwendet. Diese müssen so beschaffen sein, daß sie sich im Feld der Induktionsspule nicht oder nur wenig erwärmen.

Der Energiebedarf induktiver Trocknungsanlagen ist dem Füllungsgrad der Behandlungsspule annähernd proportional. Das Austreiben der Feuchte aus der Umhüllung kann theoretisch beliebig schnell geschehen. Wenn die Nachtrocknung (von 5% an abwärts) induktiv durchgeführt wird, ergeben sich Trocknungszeiten zwischen 1 und 10 min. Bei höherer Anfangsfeuchte wird die Trockenzeit länger. Unter der Voraussetzung, daß ab 5% Feuchte induktiv getrocknet werden soll und daß die durch Konvektion und Strahlung bedingten Wärmeverluste gering sind, kann die benötigte Energie E_{MF} für eine induktive Trocknungsanlage nach folgender Faustformel abgeschätzt werden:

$$E_{MF} \approx 3 \text{ kWh je } 100 \text{ kg und je } 100 \text{ grd}^*$$

Dies entspricht einem Energiebedarf aus dem Netz von $E_{\text{Netz}} \approx 4,5 \text{ kWh je } 100 \text{ kg und je } 100 \text{ grd}^*$.

Die genaue Berechnung des Gesamtwärmeinhaltes E_{th} der Schweißelektroden einschließlich der Verdampfungswärme ergibt sich in kWh aus der Gleichung:

$$E_{th} = \frac{1}{860} \times \left[(c_1 G_1 + c_2 G_2) \Delta T_1 + G_3 (\Delta T_2 + 539) \right]$$

Hierin bedeuten:

- G_1 Drahtgewicht in kg
- G_2 Gewicht der Umhüllungsmasse in kg
- G_3 Gewicht des Wassers in der Umhüllungsmasse in kg
- c_1 Spezifische Wärme des Drahtes in kcal/kg grd
- c_2 Spezifische Wärme des Wassers in kcal/kg grd
- ΔT_1 Temperaturdifferenz am Draht von $T_A = 20^\circ\text{C}$ bis T_E in grd
- ΔT_2 Temperaturdifferenz des Wassers $100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80 \text{ grd}$

* Bei Wärmerückgewinnung aus einer Kühlstrecke sinken diese Werte erheblich.

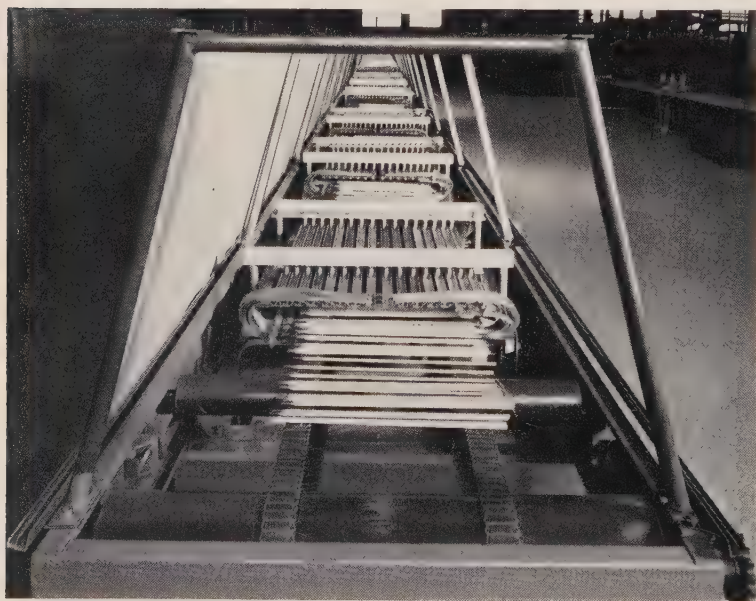


Bild 4 Induktionsanlage mit zwölf Spulen (Abdeckung entfernt) zum Trocknen von Schweißelektroden. Nutzleistung 72 oder 144 kW bei 10 kHz, Transport in einer Ebene, Baulänge 24 m. Verstellantrieb an vier Sektionen, Bandgeschwindigkeit 2 bis 15 m/min



Bild 5 Induktionsanlage mit 12 bis 27 Spulen zum Trocknen von Schweißelektroden. Nutzleistung 144 oder 288 kW bei 10 kHz, Transportvorrichtung in drei Ebenen mit Endstufe in einer Ebene, vier Verstellantriebe (für jede Ebene ein Antrieb), Umlenkung von Ebene zu Ebene mit Elektromagnet, Baulänge etwa 30 m, Bandgeschwindigkeit 2 bis 15 m/min, Trockenweg etwa 65 m

Bild 6 zeigt die Auswertung dieser Gleichung für verschiedene Werte der Endtemperatur, Anfangsfeuchte und des Umhüllungsfaktors.

Beispiel

Elektroden mit dem Fertiggewicht von 100 kg, dem Umhüllungsfaktor $D/d = 1,7$, der Anfangsfeuchte von 4% und der Endfeuchte von 0% sollen von 100 °C auf 350 °C erwärmt werden. Hierfür ergibt sich $E_{th} = 4,498 \text{ kWh} \approx 4,5 \text{ kWh}$. Bei einem Spulenwirkungsgrad von 80% entspricht dies einer Mittelfrequenz(MF)-

Energie von etwa 6 kWh ohne Berücksichtigung von Wärmeabstrahlungs- und Konvektionsverlusten.

Die Verwendbarkeit von MF-Anlagen (bis 10 kHz) ist auf magnetische Kerndrähte beschränkt. Sollen nicht-magnetische Elektroden induktiv getrocknet werden, so sind höhere Frequenzen erforderlich (200 bis 500 kHz). Die Hochfrequenz(HF)-Trocknung wäre also für alle Elektroden geeignet. Jedoch sind HF-Generatoren gegenüber MF-Umformern hinsichtlich der Anlagen- und Betriebskosten im Nachteil.

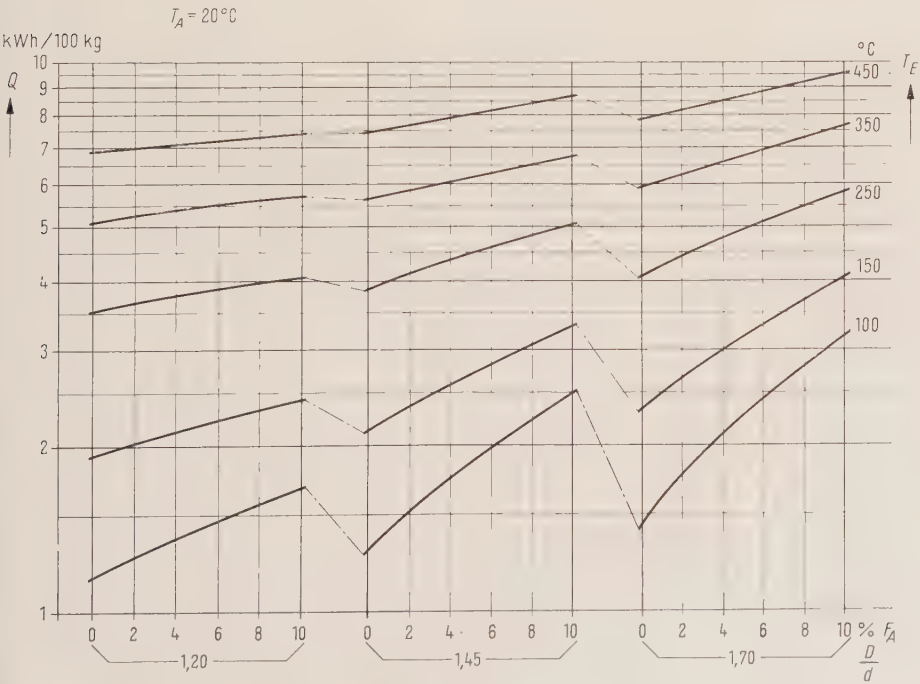


Bild 6 Wärmeinhalt Q von umhüllten Schweißelektroden in Abhängigkeit vom Umhüllungsfaktor D/d , von der Trockentemperatur T_E und der Anfangsfeuchte F_A

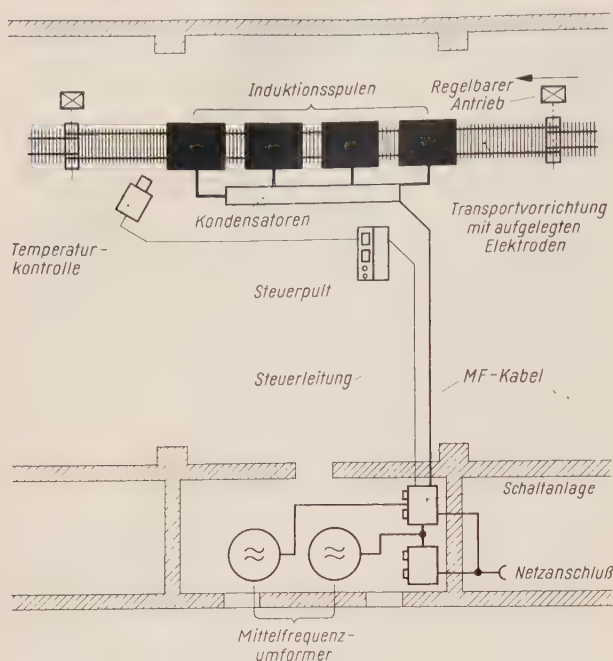


Bild 7 Grundsätzlicher Aufbau einer Induktionsanlage zum Trocknen von Schweißelektroden

Aufbau der induktiven Trockenanlagen

Induktive Trockenanlagen bestehen aus dem MF-Umformer mit den zugehörigen Schalt- und Steuergeräten und den Induktionsspulen sowie der Transportvorrichtung (Bild 7). MF-Anlagen arbeiten mit Frequenzen von 2 bis 10 kHz. Die Leistung beträgt im allgemeinen 50 bis 300 kW, die Spannung 500 bis 1000 V. Die MF-Spannung wird konstant gehalten und ist unabhängig von Last- und Netzspannungsschwankungen.

Die Arbeitsfrequenz wird mit einem rotierenden Umformer erzeugt. Er ist in senkrechter Bauweise mit Eigenbelüftung ausgeführt und wird im allgemeinen in einem möglichst staubfreien Maschinenraum aufgestellt. Die Mittelfrequenzenergie wird den Induktionsspulen über geeignete Kabel zugeführt. Der Abstand zwischen dem Umformer und der Trockenstation soll nicht größer als 50 m sein. Die Umformer sind für Parallelbetrieb eingerichtet, so daß mehrere Generatoren eine gemeinsame Sammelschiene speisen können.

Die Schaltanlage ist meistens in der Nähe der Umformer aufgestellt. Sie enthält die Anlaßeinrichtung für einen oder mehrere Umformer, Überwachungs- und Sicherheitsvorrichtungen für die Netz- und Mittelfrequenzseite und den Spannungsgleichhalter für die Arbeitsfrequenz.

Im Steuerpult sind alle Betätigungs- und Anzeigergeräte für Betrieb und Überwachung eingebaut. Von hier aus wird die Anlage ein- und ausgeschaltet, die MF-Leistung eingestellt und die Blindstrom-Feinkompensation geschaltet.

Zur Kompensation der Spuleninduktivität werden Kondensatoren zweckmäßigerweise in der Nähe der Spulen angeschlossen, da der Blindstrom ein Mehrfaches des Wirkstromes beträgt. Auf diese Weise braucht das Kabel zwischen dem Generator und der Trockenstation nur wenig mehr als den Wirkstrom zu übertragen.

In Bild 4 sind Trocknungsspulen zu erkennen. Durch Abkröpfen der Windungsenden wird dabei erreicht, daß das magnetische Feld in Richtung der Kerndrähte verläuft. Nur bei dieser Anordnung ergeben sich günstige Spulenwirkungsgrade zwischen 80 und 90%.

Mit einer umschließenden Induktionsspule können auch ganze Stapel von Elektroden gleichzeitig aufgeheizt werden. Dieses System wird bei Etagenschränken angewendet (s. Bild 3). Außerdem kann eine solche Spulen-anordnung auch für Standöfen zum Aufheizen von kalkbasischen Elektroden benutzt werden. Bei höheren Elektrodentemperaturen können die Spulen wärmeisoliert ausgeführt werden, so daß die Strahlungsverluste vermindert werden. Für den Einbau in Etagenschränke oder in Tunnelöfen sind die Spulen so ausgebildet, daß sie bei Umgebungstemperaturen bis zu 250 °C betrieben werden können. Wie bei jedem Ofen ist auch der Wirkungsgrad des induktiv beheizten Trockenofens abhängig von der Wärmeisolierung und der Wärmerückgewinnung von der Kühlstrecke. Bei guter Wärmeisolation liegen die Verluste durch Wärmeleitung und -strahlung bei etwa 15%. Da bei dieser Anordnung auch die Stromwärmeverluste der Spulen zum Trocknen beitragen, beträgt der Spulenwirkungsgrad nahezu 100%, denn innerhalb der Spule wird keine Wärme, etwa durch Wasserkühlung, abgeleitet. Der Wirkungsgrad des Umformers beträgt je nach Leistungsstufe 70 bis 87%.

Durch wirksame Wärmerückgewinnung aus der Kühlstrecke kann ein erheblicher Teil des Wärmeinhaltes der Elektroden wiedergewonnen werden.

Die induktive Trocknung bietet die folgenden Vorteile:

- Schnelle Aufheizung durch sinngemäße Wärmezufuhr von innen, dadurch kurze Trockenzeit und kurzer Trockenweg
- Trägheitslose Leistungs- und Temperatursteuerung
- Energieentnahme etwa proportional zum Durchsatzgewicht (Energieeinsparung bei Pausenzeiten)
- Sofortige Betriebsbereitschaft
- Kombinationsmöglichkeit mit konventionellen Trocknungssystemen

Die Forderung neuzeitlicher Elektrodenfabriken nach einer kontinuierlich- und automatisch arbeitenden Trocknung bei hohen Endtemperaturen führt zwangsläufig zur Beschränkung der Trockenzeit. Damit wird besonders bei der Schlußtrocknung die Intensivierung der Wärmezufuhr notwendig. Induktive Trocknungsanlagen erfüllen diese Forderung und sind daher ein wichtiger Baustein in kontinuierlich arbeitenden Trocknungsstraßen.

TECHNISCHE BERICHTE

Förderanlagen und Fernmeldeeinrichtungen der Universitätsbibliothek Bonn

VON ERICH SCHNARR UND OTTO THOMASS

In großen Bibliotheken und Archiven geht man dazu über, den wachsenden Ausleihverkehr mit Hilfe von automatischen Förderanlagen und Fernmeldeeinrichtungen zu beschleunigen und dadurch Arbeitskräfte einzusparen. Für die neuerrichtete Universitätsbibliothek Bonn mit einem Bestand von gegenwärtig etwa 700 000 Bänden und einem beträchtlichen jährlichen Bücherzuwachs lieferte Siemens & Halske eine automatische Buchförderanlage, eine Bestellzettelförderanlage sowie verschiedene fernmeldetechnische Einrichtungen.

Buchförderanlage

Die Büchermagazine der Bibliothek befinden sich in drei Untergeschossen und die Ausleihe im darüberliegenden Erdgeschoß. Jedes der Magazingeschosse erhielt eine Flachband-Förderanlage für den Buchtransport, bestehend aus drei Zubringerbändern und einem Sammelband, das über ein etwa 30° schräges Steigeband zur Empfangsstelle geführt ist (Bild 1). An den jeweils 36 m langen Zubringerbändern sind mehrere Aufgabestellen so verteilt, daß vom Standort jedes Buches bis zur nächstgelegenen Aufgabestelle nur wenige Schritte zu gehen sind. Die Bücher gelangen von einem der Zubringerbänder auf das rechtwinklig dazu verlaufende Sammelband, von dort auf das Steigeband und weiter über eine Rutsche in die Empfangsmulde bei der Ausleihstelle (Bild 2). Die Empfangsmulden aller drei Förderanlagen sind dicht übereinander angeordnet, so daß auch während des Ausleihbetriebes eine Person die eintreffenden Bücher überwachen und aus den Empfangsmulden nehmen kann.

Die drei Buchförderanlagen arbeiten unabhängig voneinander. Entlang jedem Zubringerband sind in gleichen Abständen sieben Tasten angebracht, von denen eine gedrückt wird, sobald ein Buch aufgegeben worden ist (Bild 3). Dadurch laufen das entsprechende Zubringerband sowie das Sammelband und das Steigeband an. Hat das Buch das Sammelband erreicht, so wird das Zubringerband automatisch wieder stillgesetzt – ebenso das Sammelband, sobald sich das Buch auf dem Steigeband befindet. Die Zeitkontrolle der Steuereinrichtung ist durch die Geschwindigkeit der Förderbänder festgelegt.

Damit nicht mehrere Bücher gleichzeitig an einer Stelle des Sammelbandes zusammentreffen, läuft immer nur ein Zubringerband allein. Die Befehle für die anderen Zubringerbänder, an denen weitere Bücher aufgegeben worden sind, werden bis zu dem Zeitpunkt gespeichert, an dem das gerade laufende Band den Transport beendet hat und das nächste Band anlaufen kann. Auf diese Weise gelangen die Sendungen in gestaffelter Reihenfolge auf das Sammelband. Will man auf

ein bereits laufendes Zubringerband noch weitere Bücher aufgeben, so ist auch dann jedesmal eine der Einschalttasten zu drücken, damit das Band entsprechend länger läuft.

Die Bücher passieren kurz nach Verlassen des Sammelbandes eine Lichtschranke. Hier wird geprüft, ob die auf dem Band liegenden Bücher die Höhe von 120 mm nicht überschreiten. Ist ein Buch höher, so wird der Lichtstrahl unterbrochen, alle Förderbänder bleiben automatisch stehen und eine Schnarre ertönt.

Die gesamte Förderanlage läßt sich von der Empfangsstelle aus anhand von Lampen und Tasten überwachen. So kann die Aufsicht vor dem Verlassen der Ausleihe durch Drücken einer Taste alle 15 Förderbänder stilllegen, obwohl in den Magazinen weiter Bücher aufgegeben werden. Man vermeidet damit, daß sich die Bücher an der gemeinsamen Empfangsstelle häufen. Schaltet die Aufsicht die Anlagen wieder ein, so laufen die Zubringerbänder in der Reihenfolge der eingespeicherten Befehle weiter. Auf die gleiche Weise kann die Aufsicht bei Dienstschaft die Anlagen noch einmal in Gang setzen, um sicher zu sein, daß alle Förderstrecken von aufgegebenen Büchern geräumt sind.

Die Buchförderanlagen der Universitätsbibliothek Bonn haben sich bereits im Betrieb gut bewährt. Die Förderbänder sind so an den Decken montiert, daß sie weder Regalfläche beanspruchen noch Zugänge versperren. In ihrer zweckmäßigen Ausführung und dem hellgrauen Anstrich fügen sie sich gut in die Umgebung der Bücherreihen ein. Die Anlagen arbeiten so leise, daß die erforderliche Ruhe in den Arbeitsräumen und Lesesälen nicht beeinträchtigt wird.

Bestellzettel-Förderanlage

Für den Transport der zum Ausleihen nötigen Bestellzettel dient eine Hochkant-Förderbandanlage. Die Anlage hat zwei unmittelbar nebeneinanderlaufende Förderkanäle von je 12 mm lichter

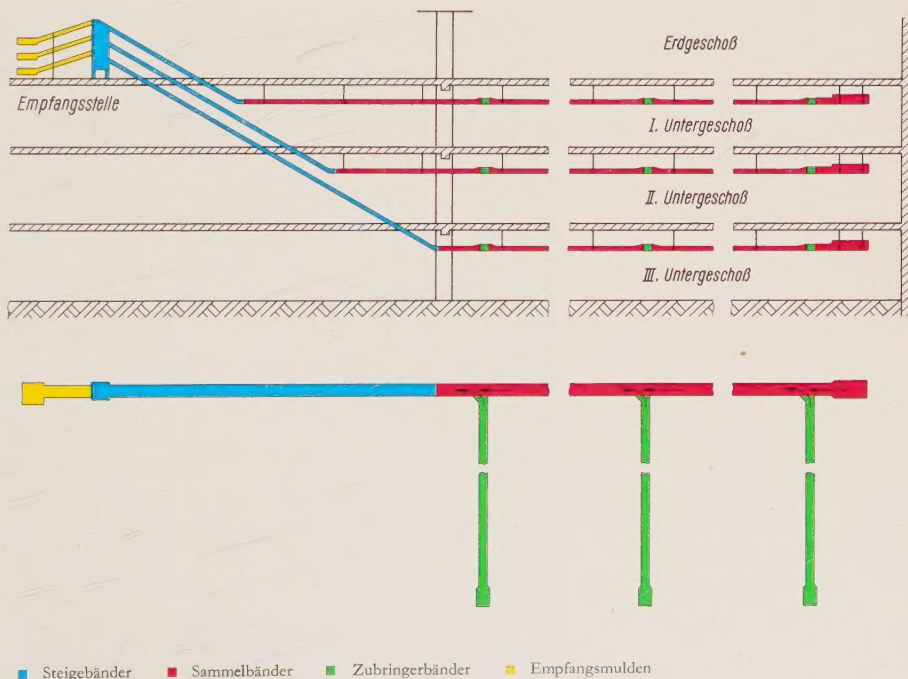


Bild 1 Verlauf der Buchförderanlage in der Universitätsbibliothek Bonn



Bild 2 Empfangsstelle
 der Buchförderanlage
 bei der Ausleihe

Weite und 80 mm Höhe, in denen die Bestellzettel stehend befördert werden. Jedes Förderband ist 20 mm breit.

Die Entleiher können ihre Bestellzettel entweder vom Vorraum aus selbst aufgeben oder den Bibliothekaren aushändigen. Von hier aus werden die Zettel mit dem Förderband zunächst an die Registrierkasse und weiter zur Rohrpostzentrale gesandt, die sie mit der Rohrpost an die Büchermagazine gibt.

Fernmeldeeinrichtungen

Die Fernsprechanschlüsse der Universitätsbibliothek sind an die unbegrenzt erweiterungsfähige Siemens-Wähl-Nebenstellenanlage im Hauptgebäude der Universität Bonn angeschlossen. Die Nebenanschlußleitungen wurden in einem Erdkabel mit 100 Ader-

paaren zusammengefaßt, das auf einem Verteiler im Schaltraum der Universitätsbibliothek endet. Zu diesem Verteiler führen außerdem sämtliche Kabel, Drähte und Rohre aller übrigen Fernmeldeeinrichtungen der Bibliothek.

Zur Zeit sind in der Bibliothek etwa 50 Fernsprecher angeschlossen; dem Leiter der Bibliothek steht eine Chef- und Sekretär-Fernsprechanlage zur Verfügung.

Eine Wechselsprechanlage mit einer Haupt-Sprechstelle und zehn Neben-Sprechstellen dient zur Beschleunigung des Ausleihbetriebes und für Rückfragen in den Magazinen und Arbeitsräumen. Die Haupt-Sprechstelle ist zentral in der Buchausleihe angeordnet und ermöglicht einen unmittelbaren Sprechverkehr mit den einzelnen Bearbeitern. In jedem Magazin bieten zehn Doppellaut-



Bild 3 Sammelband der Buch-
 förderanlage mit einem
 Zubringerband in einem
 der drei Magazingeschosse

sprecher, die gleichmäßig in den Gängen zwischen den Gestellreihen verteilt sind, ein akustisch einwandfreies Gegensprechen.

Eine Leuchtsignalanlage zeigt die in der Buchausleihe bereitstehenden Bücher an. Damit können die Wartenden schneller benachrichtigt werden. Die sechs Wechselzahlen-Tableaus ermöglichen es, ebenso viele Bücher mit je dreistelligen Nummern aufzurufen. Ist ein Buchwunsch angemeldet, so wird eine Nummer vom Ausleihepersonal eingetastet; sie erscheint später am Tableau, begleitet von einem kurzen Summertönen.

Für die Rohrpostanlage zu den drei Magazingeschossen wurde eine besondere Empfangssignalisierung vorgesehen. Mit ihrer Hilfe wird von der Sendestelle aus das Personal in den Magazinen automatisch benachrichtigt, an welcher der sechs Empfangsstellen je Geschoss eine Rohrpostbüchse mit Leihzettel angekommen ist. Die ankommende Büchse schaltet über einen Kontakt die ihr zugeteilte Ziffer an den Leuchtableaus ein, die über den Empfangsstellen angebracht sind. Leuchtableaus zum Wiederholen der Anzeige befinden sich an der Rohrpost-Sendestelle sowie im Arbeitsraum jedes Magazingeschosses. Wird eine Empfangsstelle nicht nach angemessener Zeit geleert, so kann dem Personal über die Wechselsprechanlage eine entsprechende Weisung gegeben werden.

Die fernmeldetechnische Ausstattung der Universitätsbibliothek Bonn umfaßt außer den geschilderten Einrichtungen noch eine elektrische Uhrenanlage, die von der zentralen Hauptuhr des Universitätsgebäudes gesteuert wird. Im Bibliotheksgebäude wurde außerdem eine Feuermeldeanlage eingebaut, die zusätzlich zu den bekannten Druckknopfmeldern auch selbsttätige Cerberus-Ionisations-Feuermelder enthält. Diese hochempfindlichen Melder dienen dem Schutz der wertvollen Handschriftenabteilung sowie der Mikrofilmsammlung. Sie sprechen auf die meistens schon vor Entstehen eines Brandes auftretenden geringen Mengen von Rauchgas an und lösen den Alarm so frühzeitig aus, daß für wirksame Gegenmaßnahmen Zeit bleibt. Die Feuermeldeanlage ist über einen Hauptmelder an die öffentliche Feuermeldezentrale der Stadt Bonn angeschlossen.

Mit einer Schallplatten-Tonband-Übertragungsanlage lassen sich Archivaufnahmen in vier Abhörkabinen übertragen. Die Aufnahmen können über Lautsprecher oder auch über Kopfhörer abgehört werden. Eine Fernsprechverbindung von jeder Kabine zum Tonträgerisch erleichtert die Verständigung beim Benutzen der Anlage.

Spannungs- und Stromrelais in Transistortechnik
VON ECKHARD BORN

Kontaktlose Steuer- und Regeleinrichtungen mit Transistoren wurden bereits vielfach gebaut. Sie zeichnen sich durch geringen Raumbedarf und hohe Arbeitsgeschwindigkeit aus; außerdem sind sie keinem Verschleiß unterworfen. Die Entwicklung von Bausteinsystemen erleichterte die Anwendung, ermöglichte leichte Austauschbarkeit und vergrößerte die Sicherheit. Im allgemeinen arbeiten hierbei die Transistoren als Schalter, wobei die Schaltzustände »nicht leitend« oder »leitend« das Signal bilden.

Für Aufgaben der Meßtechnik wurden nun die elektronischen Spannungs- und Stromrelais RV 45, RV 46 und RA 45 entwickelt. Sie vereinigen die Vorzüge genauer und empfindlicher Relais mit denen der Transistortechnik. Diese Relais können auch mit einem eingebauten Schutzgaskontaktrelais als Ausgang versehen werden, so daß Meßkreis und Schaltkreis galvanisch getrennt sind.

Meßprinzip und konstruktive Form

Ein mechanisches Relais ändert beim Erreichen eines kritischen Steuerungswertes seinen Schaltzustand durch Öffnen oder Schließen seiner Kontakte. Diesen beiden Schaltzuständen entsprechen beim Transistor oder bei steuerbaren Kippschaltungen die Eigenschaften »nicht leitend« oder »leitend« (Schaltsymbole »0« und »L«). Bei der in Bild 1 dargestellten Kippschaltung veranlaßt eine bestimmte

Änderung der Eingangsspannung die Schaltung zum Kippen zwischen ihren beiden stabilen Zuständen. Der kritische Spannungswert, bei dem dieses Kippen eintritt, ist durch den Eingangsteiler R_1/R_2 festgelegt sowie durch Wahl des Emitterpotentials, eingestellt mit dem Spannungsteiler R_5/R_6 . Dabei sind die kritischen Werte, die bei an- oder absteigender Steuerspannung die Schaltung zum Kippen bringen, nicht gleich groß. Die Kippstufe weist – wie ein mechanisches Relais – ein durchaus erwünschtes Rückfallverhältnis auf, dessen Größe u. a. durch das Verhältnis der Kollektorzustände R_3/R_4 einstellbar ist.

Damit die erforderliche Genauigkeit eingehalten wird, muß die Vergleichsspannung – in diesem Fall das Emitterpotential – konstant sein. Ferner ist darauf zu achten, daß die Eingangsschaltung genügend temperaturunabhängig bleibt, auch wenn sich die zu messende Spannung nur langsam ändern sollte (kein Schalterbetrieb, daher Eigenerwärmung des Transistors!).

Bei Verwendung von Germaniumtransistoren haben geringe Temperaturänderungen bereits merkliche Empfindlichkeitsänderungen der Kippschaltung zur Folge. Der niedrigste Wert für die Ansprechspannung ist daher um etwa zwei Größenordnungen höher zu wählen als die maximal zu berücksichtigende Empfindlichkeitsschwankung. Von einer Kompensation mit temperaturabhängigen Widerständen ist abgesehen worden.

Bild 2 zeigt den Temperatureinfluß auf den Ansprechwert der Relais RV 45, RV 46 und RA 45.

Bei den Wechselspannungs- oder Wechselstromrelais RV 45 und RA 45 werden Eingangs- und Meßkreis galvanisch getrennt von einem Wandler, der gleichzeitig die elektrischen Größen auf einen den Eigenschaften der Kippschaltung angepaßten Wert umsetzt. Dieser Wandler hat Abgriffe zur Bereichseinstellung und Feineinstellung des Ansprechwertes. Um ein kontinuierliches Ausgangssignal beim Erreichen des Ansprechwertes zu erzielen, wird die Wechselstromgröße gleichgerichtet und geglättet. Mit der Wahl des Glättungskondensators können das Rückfallverhältnis und die Ansprechzeit der Kippstufe beeinflusst werden.

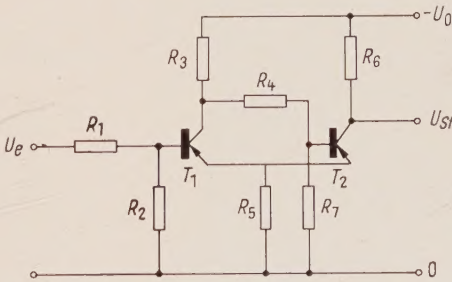


Bild 1 Steuerbare Kippstufe (Schmitt-Trigger)

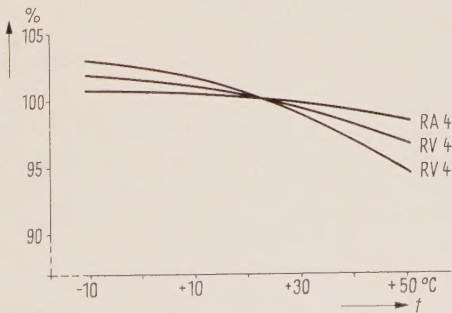


Bild 2 Temperaturabhängigkeit des Ansprechwertes der Relais RA 45, RV 46 und RV 45

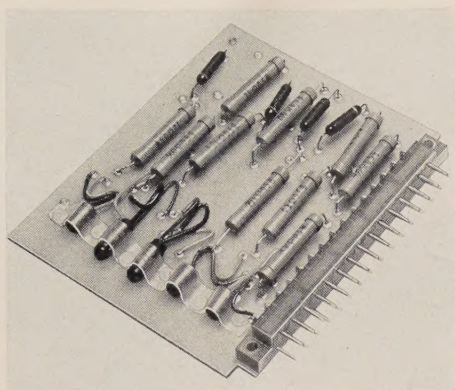


Bild 3
Steckbaugruppe der
Transistorrelais

Das Gleichspannungsrelais RV 46 wird unmittelbar an die Meßspannung angeschlossen. Der Ansprechwert wird mit Hilfe vorgeschalteter Widerstände eingestellt.

Sämtliche Relais werden von parallel zum Transistor T_1 geschalteten Zenerdioden vor Überlastung geschützt.

Für die Hilfsspannung muß eine Änderung bis zu $\pm 15\%$ zugelassen werden; die konstante Vergleichsspannung wird daher an Zenerdioden abgenommen.

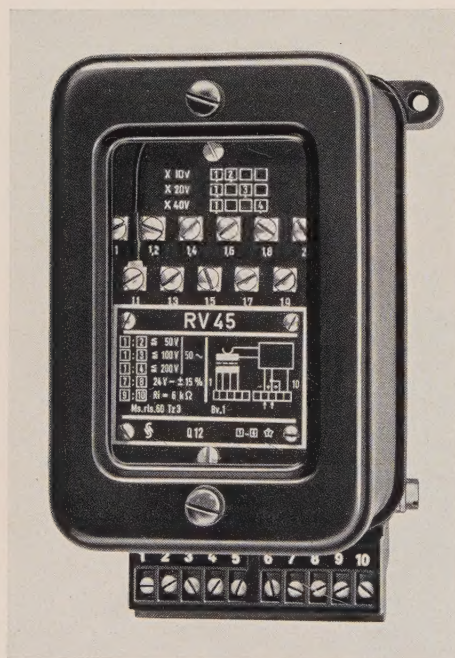


Bild 4
Wechselspannungsrelais
RV 45

Die hohe Betriebssicherheit, die von diesen Relais verlangt werden muß, wird durch eine scharfe Auswahl der Bauelemente erreicht; insbesondere werden die Halbleiter vor ihrem Einbau einem besonderen Alterungsprozeß mit mehreren Zwischenprüfungen unterworfen. Das Prüfverfahren gewährleistet, daß nur Bauelemente mit hoher Lebensdauererwartung verwendet werden.

Die Transistorrelais werden als Steckbaugruppe (Bild 3) in ein abgeschirmtes Gehäuse eingebaut und können ohne Nacheichung untereinander ausgetauscht werden. Bild 4 zeigt ein vollständiges Wechselspannungsrelais RV 45.

Technische Daten

Gleichspannungsrelais RV 46

(und, mit eingebautem Schutzgaskontaktrelais, R 1 V 46):

Meßspannung	≥ 2 V
Einstellbereich	1:2 mit Feineinstellung des Ansprechwertes von 5%, bezogen auf den oberen Einstellwert
Ansprechzeit	etwa 2 ms (für R 1 V 46)
Eingangswiderstand	etwa 1 k Ω /V
Rückfallverhältnis	etwa 90%

Wechselspannungsrelais RV 45 (und R 1 V 45):

Meßspannung	≥ 2 V
Einstellbereich	1:8 mit Feinstufung wie RV 46
Ansprechzeit	≤ 10 ms bei 50 Hz und Steigerung auf 110% U
erforderliche Steuerleistung	10 bis 100 mVA
Rückfallverhältnis	etwa 95%

Wechselstromrelais RA 45 (sowie R 1 A 45):

Meßstrom	2 mA bis 2 A; für Ströme > 2 A muß ein Zwischenwandler den Strom auf 1 A umsetzen
Einstellbereich	1:2 mit Feinstufung wie RV 46
Ansprechzeit	von der Höhe des Überstromes abhängig, bei Steigerung auf 130% ≤ 20 ms
Rückfallverhältnis	etwa 95%

Die Meßgenauigkeit (bei RV 45/RA 45 bezogen auf den Mittelwert) ist bei Zimmertemperatur kleiner als $\pm 3\%$. Die Relais sind dauernd mit dem zehnfachen Einstellwert belastbar, höhere Überlastbarkeit ist von der Verlustleistung der verwendeten Begrenzerdioden und der Größe des Anpassungswandlers abhängig und kann bei Bedarf entsprechend gewählt werden. Der zulässige Temperaturbereich liegt zwischen -20 und $+50^\circ\text{C}$.

Zur Steuerung weiterer Transistorstufen steht am Kollektor von T_2 eine Spannung von -16 V ($R_i = 4$ k Ω) bei »L«-Signal und -1 V bei »0«-Signal zur Verfügung. Als Hilfsgleichspannung sind 24 V $\pm 15\%$ erforderlich, Welligkeit $< 10\%$; die Leistungsaufnahme ist etwa $0,4$ W.

Beim RA45/RV45 beträgt die Prüfspannung 2 kV \sim zwischen Eingangskreis und Meßkreis oder Gehäuse, bei allen Typen 500 V \sim zwischen Meßkreis und Gehäuse.

Die Schaltleistung ist bei den Ausführungen mit Schutzgaskontaktrelais Ein/Aus max. 100 VA (gelöscht); Schaltspannung ≤ 250 V \sim .

Derartige Meßrelais in Transistorausführung wurden bereits als Spannungsrelais in selbsttätigen Spannungsumschalt-Steuereinrichtungen verwendet, die in SIMATIC*-Technik ausgeführt wurden. In der Zusammenschaltung mit der eigentlichen, aus SIMATIC-Bausteinen aufgebauten automatischen Steuerung erwies sich das als vollständiger Meßblock zusammengestellte und geeichte Meßrelais als sehr zweckmäßig, da das Ausgangssignal ohne weiteres in einer Transistor-Folgeschaltung weiterverarbeitet werden kann. In dieser Anwendung hat sich das Meßrelais in Transistorausführung gut bewährt. Auch für ähnliche Anwendungsfälle sind die Transistorrelais sehr geeignet.

* Eingetragenes Warenzeichen